

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

Technické konopí ve stavebnictví

Hemp in the building industry

Student:

Markéta Bambuchová

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Filip Khestl, Ph.D.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

## Zadání bakalářské práce

Student: **Markéta Bambuchová**  
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství  
Studijní obor: 3647R019 Stavební hmoty a diagnostika staveb  
Téma: **Technické konopí ve stavebnictví**  
**Hemp in the building industry**

### Zásady pro vypracování:

Jedná se o rešeršní práci historického, současného a možnosti budoucího využití technického konopí, případně lnu ve stavebních hmotách. Nedílnou součástí bude rovněž shrnutí současného vývoje stavebních hmot na bázi technického konopí jak v České republice, tak i ve světě.

V rámci praktické části se bude student/ka podílet na sklizni a zpracování technického konopí, včetně výběru pazdří či vláken pro zpracování stavebních hmot ve formě kompozitních materiálů s anorganickou maticí. Závěrečná práce bude zpracovávána ve spolupráci s firmou Agritec Plant research, s.r.o.

### Seznam doporučené odborné literatury:

- [1.]MÜSSIG, J. *Industrial application of natural fibres: structure, properties, and technical applications*. Hoboken, N.J.: Wiley, 2010, xxi, 538 p. ISBN 978-047-0695-081.
- [2.]BRUIJN, P. B., et al. Mechanical properties of lime-hemp concrete containing shives and fibres. *Biosystems Engineering* [online]. 2009, vol. 103, issue 4, s. 312-328 [cit. 2014-30-10]. DOI: 10.1533/9780857095510.2.312.
- [3.]AZWA N. Z., YOUSIF, B.F., MANALO, A.C., KARUNASENA, W. A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres. *Materials and Design*, 2013, 47, 424-442.
- [4.]CARUS M., KARST S., Kauffmann A., Hobson J., Bertucelli S. The European Hemp Industry: Cultivation, processing and applications for fibres, shives and seeds. *European Industrial Hemp Association*, 2013, 1-9.
- [5.]EIRES, R., JALALI, S. Not Conventional Materials for a Sustainable Construction: A Bio-construction System Reinforced with Cellulose Fibres, *XII Portuguese Materials Society Meeting*. 2005, Aveiro : CICECO, 223-224.
- [6.]KIDALOVA, L., STEVULOVA, N., TERPAKOVA, E., SICAKOVA, A. Utilization of alternative materials in lightweight composites. *Journal of Cleaner Production*. 2012, vol. 34, s. 208-231. DOI: 10.2172/425211.
- [7.]Firemní materiály Agritec Plant research, s.r.o.

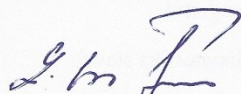
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Filip Khestl, Ph.D.**

Konzultant bakalářské práce: Ing. Marie Bjelková, Ph.D.

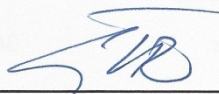
Datum zadání: 31.10.2014

Datum odevzdání: 04.05.2015



---

Ing. Libor Žídek  
*vedoucí katedry*



---

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
*děkan fakulty*

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 4.5.2015

.....  
Podpis studenta



Prohlašuji, že

- byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 4.5.2015

.....  
Podpis studenta

## **Anotace**

BAMBUCHOVÁ, Markéta. Technické konopí ve stavebnictví. Ostrava, 2015. Bakalářská práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava, 104 s. Vedoucí práce Ing. Filip Khestl, Ph.D.

Tato bakalářská práce shrnuje historické, současné a budoucí možnosti využití technického konopí, jako možnost rychle obnovitelného materiálu. Zabývá se problematikou jeho pěstování, sklizně a blíže se zaměřuje na využití konopí ve stavebnictví u nás i ve světě. Praktická část poté zkoumá úpravy konopného pazdeří tak, aby bylo co nejvhodnější pro použití do betonu. Tělesa vyrobená z takto upraveného pazdeří, byla podrobena zkouškám mechanických vlastností a posouzena na účinky máčeného pazdeří na průběh hydratace cementu.

## **Klíčová slova**

Technické konopí, rychle obnovitelný materiál, pazdeří, úprava, hydratace cementu

## **Annotaion**

This bachelor thesis summarizes historical, current and future possibilities of using technical hemp, with its possible utilization as fast renewable raw material. It describes cultivation and harvest of hemp and compares the situation in the Czech Republic with the rest of the world. Practical part of the thesis is aimed on modification of hemp hurds. This modification was used in order to help hydration of cement. Modified hurds have been used as filling material in concrete. Mechanical properties of these specimens were also tested.

## **Keywords**

Technical hemp, fast renewable raw material, hurds, modification, hydration of cement.

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala Ing. Filipu Khestlovi, Ph.D. a Ing. Marii Bjelkové, Ph.D. z firmy Agritec plant research, s.r.o. za odborné vedení mé bakalářské práce, Ing. Janu Hurtovi za pomoc v laboratořích fakulty stavební a jeho cenné poznámky a v neposlední řadě i za umožnění práce v laboratořích.

## Obsah

Seznam použitého značení .....	11
Úvod.....	12
1. Přírodní materiály ve stavebnictví .....	13
1.1 Technické konopí .....	14
1.2 Historie konopí .....	15
1.3 Zpracování konopí.....	15
1.4 Len setý.....	18
2. EPDB – Směrnice o energetické náročnosti budov .....	22
2.1 Balance CO <sub>2</sub> .....	23
3. Konopí ve stavebnictví .....	25
3.1 Konopné desky .....	26
3.2 Konopné rohože.....	27
3.3 Konopný beton .....	30
3.4 Výroba desek a rohoží .....	31
3.4.1 Výroba minerálních vláken.....	33
3.4.2 Výroba skelných vláken.....	34
3.5 Stavební materiály z konopí ve světě .....	36
4. Anorganická pojiva .....	38
4.1 Beton.....	39
Praktická část.....	41
5. Metodika pracovních postupů .....	43
6. Metodika zkoušení a použité materiály.....	45
6.1 Objemová hmotnost čerstvé směsi .....	45
6.2 Pevnostní charakteristiky.....	45
6.3 Normální konzistence, doba počátku tuhnutí .....	45
6.4 Pevnost vlákna v tahu .....	45
6.5 Sypná hmotnost pazdeří.....	46

6.6 Stanovení zrnitosti – síťový rozbor .....	46
6.7 Stanovení nasákavosti.....	46
6.8 Použité materiály .....	46
6.8.1 Konopné pazdeří, vlákno .....	46
6.8.2 Cement .....	47
6.8.3 Záměsová voda .....	47
6.8.4 Písek.....	47
6.8.5 Demineralizovaná voda .....	47
6.8.6 10% roztok NaOH.....	47
6.8.7 Bindzil 1440.....	48
7. Zpracování konopí.....	49
7.1 Výnos hmoty technického konopí .....	50
7. 2 Výroba pazdeří.....	56
8. Práce v laboratoři.....	58
8.1 Úprava organického materiálu.....	58
8.1.1 Úpravy pazdeří a vlákna – máčení, sušení .....	58
8.2 Sypná hmotnost .....	60
8.2.1 Zkouška sypné hmotnosti pazdeří.....	60
8.3 Setřesená hmotnost .....	62
8.3.1 Zkouška setřesené hmotnosti pazdeří .....	62
8.4 Nasákavost.....	63
8.4.1 Zkouška nasákavosti pazdeří .....	63
8.5 Stanovení zrnitosti – síťový rozbor .....	64
8.5.1 Síťový rozbor.....	64
8.6 Vliv LTP látek z pazdeří na cementovou matici .....	67
8.6.1 Stanovení normální konzistence .....	68
8.6.2 Stanovení dob počátku tuhnutí.....	69
8.6.3 Zkoušení cementových trámečků .....	72



8.7 Příprava receptury.....	76
8.7.1 Výroba vzorků .....	77
8.7.2 Objemová hmotnost čerstvé směsi.....	78
8.7.3 Objemová hmotnost ztvrdlého betonu .....	79
8.7.4 Pevnost v tlaku.....	80
8.8 Tažné vlastnosti vlákna .....	85
8.8.1 Zkoušení tažných vlastností .....	86
8.9 Mikroskopické posouzení.....	92
8.9.1 Mikroskopie .....	93
Závěr.....	96
Použitá literatura .....	98
Seznam obrázků .....	102
Seznam tabulek .....	103
Seznam grafů.....	104
Přílohy .....	105

## Seznam použitého značení

m	hmotnost	[kg]
c	měrná tepelná kapacita	[J/kg.K]
$\rho$	objemová hmotnost	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\lambda$	součinitel tepelné vodivosti	[W/m.K]
a	délka hrany tělesa	[mm]
A	plocha zkušební plochy	[mm <sup>2</sup> ]
l	naměřená délka (vlákna, vzdálenost mezi podporami)	[mm]
R <sub>m</sub>	pevnost vlákna v tahu	[MPa]
LTP látky	látky, omezující tuhnutí a nástup pevností betonu (rozklad celulózy, polysacharidy)	
$\rho_s$	setřesená hmotnost	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_b$	sypná hmotnost	[kg/m <sup>3</sup> ]
w	nasákavost	[%]
w	vodní součinitel	[-]
R <sub>f</sub>	pevnost v tahu za ohybu	[MPa]
R <sub>c</sub>	pevnost v tlaku	[MPa]
$\mu$	faktor difúzního odporu	[-]

## Úvod

V dnešní době můžeme pozorovat tendence návratu k přírodním materiálům. Tyto směry se týkají jak novostaveb, tak rekonstrukcí. Jedním z takových materiálů, jež jsou lidstvu známy již tisíce let, je konopí. Konopí bylo už od pradávna využíváno jako medikament, potrava i jako materiál, jež sloužil k výrobě oblečení, lan, plachet a v neposlední řadě i jako výztuž do malt zdí a nepálených cihel. Konopný materiál má výborné fyzikálně – mechanické vlastnosti, které můžeme využít pro výrobu stavebních materiálů. A v posledních desetiletích, se tak opravdu děje. Ovšem, když opomeneme výrobu nepálených cihel a vkládání konopných vláken do malt, neboli uplatnění, které známe již z minulosti, se v dnešní době snažíme pro tento materiál najít další, modernější využití. Z konopí vyrábíme tepelně – izolační rohože a desky, které slouží pro izolaci střech, stropů, podlah i zdí. Taktéž zkoumáme vliv konopného pazdeří a vlákna, jako součást cementové matrice. Konopný beton dosahuje výborných tepelně – izolačních vlastností a zároveň pomáhá vytvořit ve vnitřním prostoru tepelnou pohodu. Jak napovídá název této práce: „Využití konopí ve stavebnictví“, práce shrnuje celkové historické, současné a budoucí možnosti využití technického konopí, jako možnost rychle obnovitelného materiálu. Taktéž přibližuje v dnešní době neutěšenou situaci pěstování a zpracování technického konopí i lnu u nás a srovnává stavební materiály na bázi konopí, které jsou dostupné v dnešní době u nás na trhu. Rovněž přibližuje situaci s tímto materiálem v zahraničí, kde jsou s praktickým uplatněním mnohem dále.

Využití konopí jako stavebního materiálu, má ovšem i svá úskalí. Odpadový materiál, jež vzniká při zpracování konopí na dlouhé vlákno se nazývá pazdeří. Je to dřevitá část rostliny, kterou můžeme dále využít například jako organické plnivo betonů. Vzhledem k chemické povaze pazdeří – obsahuje celulózu, hemicelulózu, lignin a pektin, se ale musíme zabývat vlivem těchto látek na cementovou matici.

Především rozklad celulózy a uvolňování cukrů do cementové matrice, má za následek ovlivnění počátku dob tuhnutí a nástup pevností betonu. Z tohoto důvodu se praktická část zaměřuje na chemické ošetření pazdeří, kterým se snažíme docílit pozitivního účinku především na plnou hydrataci cementu a s tím spojený nárůst pevností. Zkoumá změny pazdeří způsobené jeho úpravami, tak z něj vzniklých betonových kompozitů.

## 1. Přírodní materiály ve stavebnictví

V dnešní době nalezneme stavební materiály, které se ač už s větším či menším úspěchem používají jak při novostavbách, tak rekonstrukcích. Jedná se o materiály, které se používaly od pradávna například jako dřevo, kámen, hlína, ale i materiály, které byly vytvořeny až s postupným rozvojem znalostí a techniky. K těmto bychom mohli zařadit sklo, ocel a zejména cement a z něj vyráběný prostý a vyztužený beton. K významnému posunu technologií, řadíme období průmyslové revoluce. V těchto dobách se také nejvíce uskutečnil odklon od do té doby nejvíce používaných přírodních materiálů k těm novým. Tento směr se postupně rozšiřoval z měst do vesnic a i zde byl patrný úpadek používání přírodních materiálů. Přírodní materiály se vždy používaly v závislosti na dané lokalitě výskytu. Před průmyslovou revolucí nebylo jednoduché materiál převést na větší vzdálenosti. Bylo běžné, že surovina, která se vyskytovala v dané oblasti, zde byla také využívána pro stavební účely. S rozvojem dopravy, průmyslové výroby a technologií, došlo k úpadku k využívání těchto po staletí využívaných postupů. S vyvíjejícími se technologiemi přicházely a stále přicházejí nové materiály, které není problém dopravit na velké vzdálenosti. Je ale otázkou zda je posun v před, z hlediska nových materiálů vždy správný. Nebo zda můžeme říci, jestli je vhodný a je tím nejlepším řešením v každé situaci. Ve stavebnictví můžeme totiž použít přírodní materiály, které zaručují bezpečnost a kvalitu staveb a jsou vyzkoušeny generacemi před námi a dokážou zajistit pohodu svých obyvatel. Přírodní materiály dokáží vytvořit pocit tepla a bezpečí a to spolu se splněním nejnovějších norem a požadavků. Mezi tyto kdysi zapomenuté materiály, které dnes znovu přichází do společnosti, patří například hlína, rákos, dřevní hmota, ovčí vlna, len, sláma a konopí. Z jakého důvodu, ale dochází opět ke znovuoobnovení a používání těchto materiálů? Jedním z důvodů určitě bude zvýšený zájem lidí o ochranu životního prostředí a snaha nezatěžovat přírodu víc, než je potřeba a tím zachovat svět v co nejlepší kondici, pro další generace. Tato práce se zabývá tématem využití technického konopí a lnu ve stavebnictví. Zvláště pěstování technického konopí, se dostává v posledních letech opět do popředí. Je potřeba zmínit, že v České republice mají o tyto technologie lidé zájem. Problémem je ovšem nedostatek konopného materiálu, a tak cena z nich vzniklých materiálů a budov je vyšší než by mohla být. Tuto nevýhodu umocňuje nedostatek techniky ke sklizni a průmyslového vybavení ke zpracování konopí na vlákno a pazdeří [1].

## 1.1 Technické konopí

Konopí je jednoletá, dvoudomá rostlina. Označení dvoudomé značí, že má rostliny samčí a samičí. Samčí rostliny jsou menšího vzrůstu, jsou štíhlejší, mají světlejší listy a dozrávají dříve než rostliny samičí. Samičí rostliny jsou oproti tomu statnější, mají více listů a jejich barva je temně zelená. Rostlina, i když není náročná na půdu, dosahuje lepších vlastností v půdách hlinitých až hlinitopísčitých s dobrou zásobou živin, především dusíku a draslíku. Ve fázi růstu je konopná rostlina dužnatá, ale ve vývoji velmi rychle dřevnatí [9]. Od vysetí po sklizeň konopí dochází v průměru kolem 90 – 120 dní. Za tuto dobu konopí dorůstá výšky až 4,5 m. Výška rostliny, průměr rostliny na prvním hypokotylu a množství dřevité části se pojí, s varietou rostliny Tato skutečnost byla pozorována při práci s materiálem, který pro výzkum poskytla firma Agritec plant research, s.r.o. Jednotlivé data slouží i pro výzkum firmy a jejich statistické šetření. Pro tuto práci z hlediska využití ve stavebnictví byly nejvíce významné konopné druhy rostlin, které dosahují větších výšek a průměrů stonku a tím dosahují vyššího obsahu dřevité hmoty. Zde je předpokládán vyšší výnos materiálu, který je možný použít pro kompozitní materiál. Rostliny o menším průměru dosahují vyššího množství vlákna.

Celkově se vyskytují tři druhy konopí a to: indické, plané a seté. Konopí indické (*Cannabis indica*) je pěstováno pro omamné látky obsažené v rostlině. Její obsah THC (*tetrahydrocannabinolu*) se pohybuje nad 0,3 % a pěstování tohoto druhu konopí je v České republice zakázáno. Konopí plané (*Cannabis ruderalis*) je jednoletý plevel přizpůsobený samovýsevu, je nenáročný na půdu, ale není pěstován cíleně pro další účely. Nakonec konopí seté (*Cannabis sativa*) je nejrozšířenější druh konopí, jehož jednotlivé odrůdy se dále pěstují a šlechtí dle zamýšleného použití. Obsah THC v konopí setém smí být maximálně 0,3 %. Pěstování technického konopí není v České republice omezeno. Je pouze nutné nahlásit plochu nad 100 m<sup>2</sup> u příslušného celního úřadu. Využití rostliny omezuje zákon 167/1998 Sb. o návykových látkách, který vymezuje využití konopí na dva produkty – semeno a vlákno. Využití květu technického konopí současná legislativa nedovoluje [10].



## 1.2 Historie konopí

Konopí se řadí mezi nejstarší pěstované rostliny na světě. Jeho využívání je již známo několik tisíc let. Největší rozvoj je zaznamenán v Číně, kde konopí pěstovali za účelem výroby lan, rybářských sítí a tkanin. Konopné vlákna se taktéž používala pro výrobu papíru, přičemž takto je používán dodnes. V Kanadě se ještě dnes vyrábí banky z konopného papíru. Taktéž semena našla své využití. V minulosti byla semena konopí spolu s rýží, ječmenem, prosem a sójou nejstarším používaným zrním. V dnešní době slouží pro výrobu olejů a přidává se do potravin. Konopí indické se taktéž používalo v lékařství jako léčivé masti, pro úlevu od bolesti a další. Postupně se v průběhu staletí díky rozvoji rozšířilo do celého světa [11]. Vlákno, pazdeří i celé stonky konopí je taktéž už od pradávna dáváno do omítek ke zpevnění struktury, jelikož má velkou stabilitu a je odolné proti roztrhání. V dnešní době máme pro konopí ve stavebnictví mnohem větší možnosti využití. Z konopného pazdeří a vlákna dokážeme vyrobit pružné izolační desky (např. Insowool, Steico), izolační rohože (Canabest), nepálené cihly (Texbis), kročejovou izolaci a další. Lze jej použít i jako přísadu do betonu. Tento beton je lehkým betonem, který nemůže plnit nosnou funkci stavby, ovšem plní funkci izolační. Při výstavbě je využívána nejčastěji dřevěná nosná kostra a konopný beton se ukládá do bednění. Tyto stavby z konopí mají výborné tepelně – technické, zvukové – izolační a difuzní vlastnosti. Největší výhodou výrobků z konopí je ovšem obnovitelnost zdroje, nízká energetická náročnost zpracování konopí proti výrobě cihel a cementu a nezanedbatelné energetické úspory při pozdější likvidaci staveb [12].

## 1.3 Zpracování konopí

Abychom konopí mohli využít ve stavebnictví či jiných oborech, je nutné ho zpracovat. Pro výrobu jednotlivých materiálů, ať už tepelně izolačních rohoží, desek, plastů a dalších, je nutné oddělit vlákno od pazdeří. Prvním krokem ke zpracování konopí je připravit stonek na proces. To probíhá máčením ve vodní lázni, případně rosením a následným sušením stonků. Tento postup se provádí, aby šla vlákna při dalším zpracování lépe oddělit. K samotnému zpracování konopí a lnu se nejdříve využívalo mlácení pomocí kamenných palic. Později s vývojem se přešlo ke zpracování pomocí trdlic a vochlí. Trdlice je ruční nástroj pro zpracování stonkového konopí a lnu. Rosený stonek se na trdlici lámal a tím zbavoval pazdeří. Vzniklé vlákno se vochlovalo, neboli pročešávalo vochlí (prkno s ocelovými hroty). Vochlování probíhalo ručně, v dnešních dobách známe vochlování

strojní. Tento ač jednoduchý proces byl při ručním zpracování velmi pracný, zvláště při vyšších výškách konopí. Při strojím vochlování, je využíváno nekonečného pásu. Stroj překládá hrsti lnu a konopí drženého ve skřipcích a pásy opatřené strojními vochlemi pročešávají materiál a přitom odstraňují zbytky pazdeří, nečistot a koudele (krátkých vláken). Poté probíhá další úprava – sprádání nití, tkaní či motání. Rozvoj strojního zpracování konopných stonků přišel až v průběhu 30. let minulého století. V 50. letech minulého století vznikl Českomoravský len Humpolec, který zpracovával len, ale i konopí a v Čechách a na Moravě provozoval 26 tíren. Stroje používané touto společností byly vyváženy i do zemí východního bloku [14].



*Obrázek 1: Potěrací linka firmy Agritec*



*Obrázek 2: Ruční stroj pro tírenské zpracování,  
Agritec*



*Obrázek 3: Ruční stroj pro tírenské zpracování,  
Agritec*

Později je zaznamenán přechod od máčení k rosení a to nejen kvůli zápachu a znečištění vody, ale i kvůli ekonomických a technologických důvodů. Máčí se snopy, ale moderní zemědělství pracuje s balíky a minimalizuje tím lidskou práci. Západoevropské firmy tedy začaly používat rosení, které probíhá přímo na poli. Odbourávání pektinu ve stoncích vystavených přirozené vzdušné vlhkosti, tak způsobuje, že se při rosení do půdy vrací velká část živin obsažených ve stonku. Takto získaná vlákna jsou méně kvalitní než vlákna získaná máčením, ale pro potřeby stavebnictví je tato kvalita dostačující. Průměrná délka získaného technického vlákna se pohybuje v rozmezí 1,0 – 2,0 m, jeho tažnost je pak 1,5 – 3,0 %. Měrná hmotnost konopného vlákna je  $1480 \text{ kg/m}^3$  [24].

Vzhledem k tomu, že stonek zůstává při tomto procesu na poli někdy až do půli října, hrozí díky nejistotě suchého počasí, že se stonky nestihnou sbalit, odvést a o úrodu se přijde. Díky tomu existují společnosti, které rosení a máčení nevyužívají. Vlákno a pazdeří získávají pouze mechanickým odstraněním. Mezi takové společnost patří třeba například LeChanvre ve Francii [13]. Konopí pěstované a zpracované v této tírně je po sklizni sušeno tak, aby se zabránilo přílišnému rosení. Při obsahu vody 14 – 18 % ve stoncích, se stonky formují do válcových balíků, které jsou uloženy v halách zemědělců a ty jsou dodávány továrně po celý rok. Po nařezání balíků na 30 cm úseky, se stonky podrobí mechanickému rozvlákňování [15]. Tento způsob je více náročný na spotřebu energie, ale nedochází při něm k velkým ztrátám na úrodě.



*Obrázek 4: Vlákno konopí*

Z dat firmy Agritec můžeme pozorovat statistická data konopí setého pěstovaného v České republice v letech 2003 – 2014. Osevní plocha se pohybuje v posledních letech stabilně nad 200 ha a z tohoto množství, se podařilo získat průměrně 1,55 t/ha vlákna a výnos stonku se pohyboval kolem 8,3 t/ha. Tyto osevní plochy nejčastěji slouží pro produkci semene pro krmné nebo technické využití. Pro potřebu výroby textilu se k nám konopné vlákno nejčastěji dováží ze zemí Rumunska, Číny a Indie [24]. Vzhledem k možnosti využití celé rostliny je vhodné uvažovat o víceřadém využití. Části rostliny, které se běžně u nás nevyužívají k výrobě, by mohly vhodně posloužit. Právě pazdeří, které vzniká jako odpad při tírenském zpracování má velký potenciál. Jako podestýlka pro zvířata, pro briketování, pro kompozitní stavební materiály a další. Důležitým leč nedostatečným vybavením u nás, je právě možnost tírenského zpracování. Dá se předpokládat, že s lepší možností zpracování, by se zvedly i osevní plochy konopí.

*Tabulka 1: Statistická data konopí seté [24]*

Konopí technické	jedn.	03/04	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10
<b>Osevní plocha</b>	ha	115	307	156	1155	1538	518	228
<b>Výnos stonku</b>	t/ha	9,5	9,0	9,0	9,0	8,6	6,0	8,0
<b>Výnos vlákna</b>	t/ha	2,35	1,55	1,45	1,50	1,90	1,80	1,60
		<b>10/11</b>	<b>11/12</b>	<b>12/13</b>	<b>13/14</b>			
<b>Osevní plocha</b>	ha	236	290	213	280			
<b>Výnos stonku</b>	t/ha	8	9,0	8,0	8,5			
<b>Výnos vlákna</b>	t/ha	1,60	1,60	1,40	1,55			

## 1.4 Len setý

Len setý je jednoletá rostlina pěstovaná pro olejnatá semena, později pro jemná vlákna. Z lněných vláken se již v Mezopotámii vyráběly provazy, sítě i tkaniny. Odtud se pěstování lnu rozšířilo do celého světa. Len setý může dorůst do výšky až 120 cm a jeho vegetační doba je 85 – 110 dní. Pazdeří tvoří 50 – 60 % celkové hmotnosti stonku. Len je citlivý na dostatečný přísun vody v růstu a proto by měl být pěstován v oblastech, kde je úhrn srážek vyšší než 600 mm ročně. Jeho sklizeň probíhá obdobně jako u konopí. Pěstování lnu s sebou nese i požadavek na čistotu porostu. Oproti konopí je možnost znehodnocení plevelem vysoká. Plevel je v porostu lnu činitelem, jež brání příjmu živin a vláhy z půdy a tím přispívají k rozvoji chorob lnu, zhoršují se podmínky pro mechanizovanou sklizeň a výrazně snižují nebo znehodnocují jakost dlouhé či krátkého vlákna. Zbytky plevelu se mohou dostat až do fáze zpracování lnu a tím znehodnocují vyráběné lněné výrobky. Nejčastější ochrana proti šíření plevelu ve lnovém porostu je chemické ošetření [24].



Vlákna lnu jsou velmi pevná, trvanlivá (nestárnou) a odolná hnilobě. Jsou hořlavá a mají značnou nasákavost. Délka technického vlákna se pohybuje v rozmezí 0,3 – 1,0 m. Tažnost za sucha je 0,6 – 1,8 % a měrná hmotnost se pohybuje kolem 1450 kg/m<sup>3</sup>. Vlákna lnu a konopí se řadí do stejné skupiny lýkových vláken. Tyto vlákna jsou získávána ze stonků rostlin a i jejich chemické složení je podobné. Konopné vlákno má však oproti lnovému vyšší obsah ligninu [17]. Netextilní průmysl využívá lněná vlákna například pro výrobu izolačních materiálů tlumících hluk, pro zesilování plastů a výrobu cigaretového papíru. Ve stavebním průmyslu můžeme využít lněné vlákno i pazdeří [16]. Využití je obdobné jako u konopí. Ze lnu nejčastěji vyrábíme izolační rohože a desky.



*Obrázek 5: Pazdeří len*



*Obrázek 6: Vlákno len*



*Obrázek 7: Stonek lnu po sklizni*

Statistická data nám předkládají vývoj osevních ploch přádného lnu [24]. V roce 2003/2004 bylo v České republice oseto přádným lnem 6003 hektarů půdy. Po tomto roce došlo významným způsobem ke snižování osevu polí lnem. V roce 2007/2008 to bylo již 824 hektarů a v roce 2013/2014 již prameny uvádí jen 2 hektary. Z této výměry se pak podařilo



získat 7,4 tuny roseného stonku a z něj se celkově vyrobilo 0,7 tuny vlákn. V přepočtu byl výnos v tomto roce 350 kg/ha třeného vlákna a 450 kg/ha třené koudele [24]. Za snižováním osevních ploch můžeme hledat velký dovoz těchto vláken z Číny a zavření všech průmyslových tíren v zemi.

*Tabulka 2: Statistická data len přadný [24]*

<b>Len přadný</b>	<b>jedn.</b>	<b>03/04</b>	<b>04/05</b>	<b>05/06</b>	<b>06/07</b>	<b>07/08</b>	<b>08/09</b>	<b>09/10</b>
<b>Osevní plocha</b>	ha	6003	5499	4368	2752	824	156	153
<b>Stonek rosený</b>	t	13822	19290	14657	9000	2800	485	490
<b>Výnos roseného stonku</b>	t/ha	2,32	3,86	3,40	3,27	3,45	3,14	3,17
<b>Výnos třeného vlákna</b>	kg/ha	316	586	464	527	667	435	320
<b>Výnos třené koudele</b>	kg/ha	324	570	673	600	728	507	530
		<b>10/11</b>	<b>11/12</b>	<b>12/13</b>	<b>13/14</b>			
<b>Osevní plocha</b>	ha	11	3	1	2			
<b>Stonek rosený</b>	t/ha	34	10	3	7,4			
<b>Výnos roseného stonku</b>	t/ha	3,1	3,4	8,0	3,7			
<b>Výnos třeného vlákna</b>	kg/ha	309	400	400	350			
<b>Výnos třené koudele</b>	kg/ha	600	600	500	450			

Stavebním výrobkem z lněných vláken na českém trhu je od firmy JUTA a.s. Výrobce uvádí výrobek Naturizol. Je to tepelně – akustická izolace ve formě rohoží, která nachází uplatnění při zateplení ve střeších, při zateplení stropu, sendvičového zdiva, jako izolace dělicí příčky, při zateplení obvodové stěny dřevostavby a při zateplení obvodové stěny z vnitřní strany. Rohož se skládá z 82 – 86 % lněného vlákna, 11 – 13 % Bi – Co vlákna a 3 – 5 % retardantu hoření. Společnost JUTA a.s. je v současné době na českém trhu jedinou firmou, která nabízí izolační materiály na bázi lněných vláken [24]. Tabulka 3: Tepelně - technické vlastnosti výrobku Naturizol [24] uvádí tepelně – technické vlastnosti výrobku. Je zde uvedena objemová hmotnost  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>], součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  [W/m.K], měrná tepelná kapacita  $c_p$  [J/kg.K], faktor difúzního odporu  $\mu$  [-], třída reakce na oheň, standardní rozměry, jejich tloušťka [mm] a cena za 1 m<sup>2</sup>.

*Tabulka 3: Tepelně - technické vlastnosti výrobku Naturizol [24]*

<b>Výrobek</b>	<b>Naturizol</b>
<b>Materiál</b>	vlákna lnu
<b>Objemová hmotnost [kg/m<sup>3</sup>]</b>	32
<b>Tepelná vodivost [W/m.K]</b>	0,039
<b>Měrná tepelná kapacita [J/kg.K]</b>	1550
<b>Faktor difúzního odporu</b>	5,7
<b>Třída reakce na oheň</b>	E
<b>Rozměry [mm]</b>	1200 x 600
<b>Tloušťka [mm]</b>	40 - 140
<b>Cena pro tloušťku 140 mm [Kč/m<sup>2</sup>] s DPH</b>	339

## 2. EPDB – Směrnice o energetické náročnosti budov

Používání konopí a lnu jako stavebního materiálu, můžeme brát taktéž ze strany podpory optimální úrovně požadavků na energetickou náročnost. Směrnice evropského parlamentu a rady 2010/31/EU ze dne 19. května 2010 o energetické náročnosti budov říká: „Podíl budov na celkové spotřebě energie v Unii činí 40 %. Tento sektor se rozrůstá, což bude mít za následek zvýšení spotřeby energie. Snížení spotřeby energie a využívání energie z obnovitelných zdrojů v sektoru budov proto představují důležitá opatření nutná ke snižování energetické závislosti Unie a emisí skleníkových plynů.“ a dále: „Závazek snížení do roku 2020 celkové emise skleníkových plynů alespoň o 20 % ve srovnání s hodnotami z roku 1990 a v případě mezinárodní dohody o 30 %.“ Směrnice dále říká: „Energetická náročnost budov by měla být vypočtena na základě metody, která se může na vnitrostátní a regionální úrovni lišit. Kromě tepelných vlastností zahrnuje další faktory, které hrají stále důležitější úlohu, např. zařízení pro vytápění a klimatizaci, využití energie z obnovitelných zdrojů, prvky pasivního vytápění a chlazení, stínění, kvalita vnitřního ovzduší, odpovídající denní světlo a návrh budovy.“ [30]

Na základě této směrnice mají jednotlivé státy povinnost snižovat úroveň hladiny především CO<sub>2</sub> a zároveň zvyšovat podíl využití obnovitelných zdrojů energie. Ze směrnice je patrné, že do výpočtu se taktéž zavádí samotný návrh budovy. Jednotlivé její části zasahují do výpočtu a konopí i len v první řadě zastupují obnovitelný zdroj materiálu s vysokým podílem dřevité složky, kterou v žádném případě nemohou takto rychle poskytnout stromy. Tyto složky díky svým tepelně – technickým, zvukově – izolačním a difuzním vlastnostem poskytují kvalitní a trvanlivou podporu stavby, která je při výpočtu zahrnuta. Zároveň stavby z konopí (lnu) mají negativní CO<sub>2</sub> bilanci a samotné zpracování konopí vyžaduje nízké energetické zpracování oproti výrobě např. cihel a cementu. Další z výhod je vysoká měrná tepelná kapacita, která přispívá k udržení tepelné pohody. Používání stavebních materiálů z konopí a lnu, tak může přispět ke snížení energetické náročnosti budov.

## 2.1 Balance CO<sub>2</sub>

Při využívání přírodních materiálů se sleduje i dopad na životní prostředí neboli ekologickou stopu. Co největší snižování ekologické stopy je z jedním trendů, moderní doby. S postupem vývoje jsme se sice naučili vyrábět materiály s výbornými vlastnostmi, ovšem na úkor velké spotřeby energie a znečištění životního prostředí. Množství negativních či pozitivních postupů výroby materiálů můžeme soudit právě dle ekologické stopy. Ekologická stopa se počítá dle daného materiálu a známých fyzikálních vlastností (součinitel tepelné vodivosti, objemová hmotnost). Celkový vliv výrobku na životní prostředí se pak posuzuje dle tří kritérií:

- množství vázané primární energie
- emise CO<sub>2</sub>
- emise SO<sub>2</sub>.

První kritérium zahrnuje energii nutnou na získání suroviny, výrobu a dopravu materiálu. Druhé kritérium zahrnuje látky přispívající ke skleníkovému efektu. Vzhledem k zvyšující se koncentraci CO<sub>2</sub> v atmosféře se oxid uhličitý považuje za srovnávací veličinu. Uvádí se kolik kilogramů CO<sub>2</sub> bylo uvolněno při výrobě materiálu. Třetí kritérium určuje potenciál zakyselení životního prostředí – plyny reagují a váží se v atmosféře s vodou a dopadají na zem ve formě kyselých dešťů, čímž přispívají ke korozi budov a venkovních uměleckých předmětů.

Nařízení EP a Rady č. 305/2011 určuje základní požadavky na stavby (stavební výrobky) takto:

- mechanická odolnost a stabilita
- požární bezpečnost
- hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí
- ochrana proti hluku
- bezpečnost při užívání
- úspora energie a tepla
- udržitelné využívání přírodních zdrojů.

K dřívějším již známým šesti základním požadavkům, od letošního roku přibývá další. Sedmý základní požadavek na stavby říká, že stavba musí být navržena, provedena a zlikvidována takovým způsobem, aby bylo zajištěno udržitelné využití přírodních zdrojů. Využívání odpadů dřeva – pilin, hoblin, třísek a pazdeří dle kritérií pro zhodnocení ekologické stopy dává pro tyto podmínky dobré hodnoty.

Konopí len hromadí při svém růstu ve své struktuře  $\text{CO}_2$ . Při následném sklizení materiálu, výrobě i dopravě, tak dochází k menšímu množství uvolněného oxidu uhličitého vzhledem k jeho kumulaci v rostlině při růstu. Výrobky na bázi dřeva, v našem případě konopí, tak mají negativní bilanci  $\text{CO}_2$  a jsou šetrné ke svému okolí. Jeden kilogram konopí při svém růstu spotřebuje a váže asi 4 kg  $\text{CO}_2$ . Přitom se do přírody uvolňuje pouze 0,2 kg  $\text{CO}_2$ . Tyto hodnoty jsou příznivější oproti hodnotám při výrobě materiálů z ropy nebo z anorganických vláken na bázi skla nebo minerálních vláken [1].



### 3. Konopí ve stavebnictví

Již v dávné minulosti při stavbě chatrč z hlíny se používaly konopné stonky do omítek ke zpevnění struktury. Dnes se výrobky z pazdeří a vlákna používají hlavně jako izolační a těsnicí materiál. I u nás můžeme najít firmy, které prodávají tyto materiály a taktéž najdeme stopy použití konopných výrobků i v nedávných letech.

U panelových domů typu G 55 a G 57 byla tepelná izolace nahrazena pazderobetonem. Pazderový beton měl objemovou hmotnost v rozmezí  $\rho = 650 - 1200 \text{ kg/m}^3$  a součinitel tepelné vodivosti se pohyboval v hodnotách  $\lambda = 0,093 - 0,151 \text{ W/(mK)}$ . Jeho špatnou vlastností byla vysoká nasákavost. Z tohoto důvodu byly tepelně – technické vlastnosti obvodových plášťů nedostatečné, stejně jako spáry mezi obvodovými panely netěsnily a přispívaly k velkým tepelným ztrátám. Byl zaznamenán vznik plísní a značné náklady na vytápění. Pojmem pazderobeton byl nazýván materiál plněný jak konopným, tak lněným pazdeřím [1], [18].

Dalším v nedávné době používaným materiálem u nás, byly desky Empa. Tyto desky byly slisované z lněného a konopného pazdeří, bavlněného a textilního odpadu a asfaltové emulze s cihlářskou hlínou jako pojivem. Měly podobné vlastnosti jako desky z pazdeří, ovšem k výrobě Empa desek bylo zapotřebí mnohem většího množství vody, které bylo třeba následně vysoušet. Vyráběly se ve velikosti  $500 \times 1000 \times 30 \text{ mm}$  a objemová hmotnost se pohybovala v rozmezí  $\rho = 195 - 220 \text{ kg/m}^3$ . Součinitel tepelné vodivosti byl  $\lambda = 0,054 - 0,074 \text{ W/(m.K)}$ . Tyto desky sloužily především jako tepelné a zvukové izolace stěn, příček a podlah. Nejčastěji byly využívány v panelové zástavbě v 50. – 70. – letech minulého století [1]. Jedním z dalších možností využití konopí je výroba vepřovic – cihel z nepálené hlíny.

### 3.1 Konopné desky

Konopné desky jsou izolačním materiálem vyráběným z konopného vlákna, pazdeří, pojiv a roztoku sody, která působí jako retardér proti hoření a plísni. Konopné desky se nejčastěji využívají pro zateplení vnějších stěn nebo podlah. Pazdeří spolu s vláknem pomáhá dosáhnout objemové hmotnosti pohybující se kolem  $\rho=100 \text{ kg/m}^3$  [19]. Konopné desky Canabest Panel mají následující složení: 50 – 55 % konopného pazdeří, 30 – 35 % konopného vlákna, 15 – 17 % pojivového vlákna Bi – Co a 3 – 5% roztoku sody, který působí jako retardant hoření. Uvedené složení je přibližně stejné pro všechny vyráběné konopné desky. Tyto konopné desky slouží jako tepelné a zvukové izolace do fasád a podlah. Na fasády se lepí a kotví na pevný podklad stěn a na desku se dále aplikují další vrstvy. Do podlah je deska určena například pod dřevěné podlahy, pod betonové desky a anhydritové potěry. V tabulce č. 4 je uvedeno pro srovnání s konopnou deskou Canabest Panel i izolační deska od společnosti Rockwool a Isover vzhledem k jejich tepelně technickým vlastnostem. Je zde uvedená objemová hmotnost  $\rho$  [ $\text{kg/m}^3$ ], součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  [ $\text{W/m.K}$ ], měrná tepelná kapacita  $c_p$  [ $\text{J/kg.K}$ ], faktor difúzního odporu  $\mu$  [-], třída reakce na oheň, standardní rozměry, jejich tloušťka [mm] a cena za  $1 \text{ m}^2$ .

Tabulka 4: Tepelně technické vlastnosti desek

Výrobek	Canabest Panel	Steprock HD	IsoverTDPT
Materiál	konopné vlákna a pazdeří	minerální vlákna	skelná plst'
Objemová hmotnost [ $\text{kg/m}^3$ ]	$100 \pm 5$	137,3	100
Tepelná vodivost [ $\text{W/m.K}$ ]	0,041	0,039	0,033
Měrná tepelná kapacita [ $\text{J/kg.K}$ ]	1600	840	840
Faktor difúzního odporu	1,8	1	1
Třída reakce na oheň	E	A1	A2
Standardní rozměry [mm]	1000 x 500	1000 x 600	1200 x 600
Tloušťka [mm]	30 - 60	20 - 60	15 - 60
Cena pro tloušťku 50 mm [ $\text{Kč/m}^2$ ] bez DPH	330	215	465

Pro porovnání s izolační deskou Canabest Panel je uvedena izolační deska Steprock HD od společnosti Rockwool, u které výrobce uvádí použití jako polotuhé tepelně – izolační akustické desky pro lehkou plovoucí podlahu a izolační deska Isover TDPT určená pro zvukové a tepelné izolace do podlahových konstrukcí pod betonové desky nebo anhydritové vyrovnávací potěry. Kritérium pro výběr bylo voleno s ohledem na objemovou hmotnost desek. Dle uvedených tepelně - technických vlastností můžeme říci, že konopné desky mohou snadno konkurovat většinově používaným materiálům z minerálních a skelných vláken. Je uvedena i cenová relace za materiál v Kč/m<sup>2</sup>. Uvedené ceny ukazují, že konopné desky nemusejí být nejdražším produktem na trhu a zároveň mohou svými vlastnostmi konkurovat ostatním dodavatelům. [22], [21]

### 3.2 Konopné rohože

Konopné rohože jsou izolačním materiálem vyráběným z konopného vlákna, pojiva a roztoku sody, která působí jako retardér proti hoření a plísni. Rohože nacházejí nejčastější použití pro tepelné izolace střech, stěn nebo stropů a jejich objemová hmotnost je přibližně  $\rho = 20 - 30 \text{ kg/m}^3$  [19]. Například rohože Canabest Plus deklarují složení 80 – 87 % konopného vlákna, Bi – Co vlákno 10 - 12 % a 3 – 5 % sody. Izolační rohože Canabest plus nachází uplatnění jako tepelné a zvukové izolace pro použití mezi krokvemi, v dřevěných rámových stavbách, trémových stropech nebo ve vnějších a vnitřních stěnách v konstrukcích ze dřevěných nebo hliněných panelů [20]. V tabulce č. 5 je pro srovnání s konopnou rohoží Canabest plus uvedena izolační rohože od společnosti Rockwool a Isover vzhledem k jejich tepelně technickým vlastnostem. Je zde uvedena objemová hmotnost  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>], součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  [W/m.K], měrná tepelná kapacita  $c_p$  [J/kg.K], faktor difúzního odporu  $\mu$  [-], třída reakce na oheň, standardní rozměry, jejich tloušťka [mm] a cena za 1 m<sup>2</sup>.

*Tabulka 5: Tepelně - technické vlastnosti izolačních rohoží*

Výrobek	Canabest Plus	Rockmin Plus	IsoverUnirolProfi
<b>Materiál</b>	konopné vlákna	minerální vlákna	skelná vlákna
<b>Objemová hmotnost [kg/m<sup>3</sup>]</b>	36 ± 3	30,4	22
<b>Tepelná vodivost [W/m.K]</b>	0,040	0,037	0,033
<b>Měrná tepelná kapacita [J/kg.K]</b>	1600	840	840
<b>Faktor difúzního odporu</b>	1,9	1	1
<b>Třída reakce na oheň</b>	E	A1	A1
<b>Standardní rozměry [mm]</b>	1200 x 600	1000 x 610 (625)	3000 – 9500 x 1200
<b>Tloušťka [mm]</b>	40 – 180	40 – 200	50 - 180
<b>Cena pro tloušťku 120 mm [Kč/m<sup>2</sup>] bez DPH</b>	348	114	258

Pro porovnání s izolační rohoží Canabet Plus je uvedena rohož Rockmin Plus vyrobená z minerální plsti pojená organickou pryskyřicí. Tato rohož je určena pro tepelné a protipožární izolace v oblasti vnějších konstrukcí – šikmých střech, podkroví, vnitřních konstrukcí – stropů, podlah, mezi trámy, do přiček, podhledů a další. Rohož UnirolProfi od výrobce Isover je skelným izolačním pásem použitelným jako tepelná a akustická izolace šikmých střech a stropů. Z tepelně – technických vlastností je jasné, že konopné rohože mají srovnatelné vlastnosti s běžně prodávanými materiály na trhu. Ekologická stopa je ovšem mnohem příznivější než u ostatních výrobků [21], [22]

Další společností na trhu, která dodává konopné výrobky u nás je IZOLACE KONOPÍ CZ, s.r.o., tato společnost dodává materiály z technického konopí TERMO-KONOPÍ<sup>®</sup>, hliněné stavební produkty a omítky ProCrea<sup>®</sup> a dřevovláknité desky OptiPlan<sup>®</sup>. Výrobce těchto materiálů je německá firma Hock GmbH. & Co. KG se sídlem a výrobním závodem v Nördlingenu. Firma dodává v České republice materiály z konopí a juty na bázi rohoží s objemovou hmotností kolem  $\rho = 30 - 40 \text{ kg}^3$ . V následující tabulce jsou uvedeny pro srovnání vlastnosti tří rohoží dostupných na našem trhu a jejich prodejní cena.

*Tabulka 6: Tepelně - technické vlastnosti konopných rohoží*

Výrobek	Termo konopí CombiJute	Termo konopí Premium	Termo konopí Plus
<b>Materiál</b>	Vlákna konopí, juty	Konopné vlákna	Konopné vlákna
<b>Objemová hmotnost [kg/m<sup>3</sup>]</b>	30 – 42	38	30 – 42
<b>Tepelná vodivost [W/m.K]</b>	0,040	0,040	0,040
<b>Měrná tepelná kapacita [J/kg.K]</b>	2300	1600	1600
<b>Faktor difúzního odporu</b>	1 – 2	1 – 2	1 – 2
<b>Třída reakce na oheň</b>	E	E	E
<b>Rozměry [mm]</b>	1200 x 625	1200 x 625	1200 x 625
<b>Tloušťka [mm]</b>	30 – 220	30 - 220	30 – 220
<b>Cena pro tloušťku 100 mm [Kč/m<sup>2</sup>] bez DPH</b>	290	340	390

Společnost ve svých technických listech uvádí složení svých výrobků. Izolační rohože CombiJute se skládají z konopného vlákna (bez přídavku pazdeří) 65 – 70 %, vlákna z juty 20 – 25 %, pojivového vlákna Bi – Co 8 – 10 % a retardantu hoření sody 2 – 5 %. Rohože Premium se již oproti tomu skládají jen z vlákna (bez přídavku pazdeří) 82 – 85 %, pojivového vlákna Bi – Co 10 – 15 % a retardantu hoření sody 3 – 5 %. Oproti předchozím výrobkům rohože Plus obsahují místo umělého dvousložkového Bi – Co vlákna vlákno přírodní a to 10 – 12 % kukuřičného škrobu. Obsah konopného vlákna (bez přídavku pazdeří) a sody je přibližně stejný jako u předchozích produktů. Tento izolační materiál je vhodný k izolaci střech, stropů, podlah, přiček, vnitřních i vnějších stěn. Výborné akumulční schopnosti u všech typů izolačních materiálů vyráběných z konopí ( $c_p$  cca 1600 J/kg.K) zajišťují ochranu před horkem v létě a chladem v zimě. U výrobku CombiJute je hodnota měrné tepelné kapacity dokonce 2300 J/kg.K [20]. Vyšší hodnota měrné tepelné kapacity způsobuje zpoždění v nástupu vysokého rozdílu teplot a tím přispívá k vyšší tepelné pohodě.

### 3.3 Konopný beton

Lehké betony označované jako LC (light weight concrete) jsou betony vylehčené dutinami a póry v textuře betonu. Lehkého betonu dosáhneme např. zvětšením mezerovitosti betonu – použitím dvou frakcí hrubého kameniva bez obsahu drobné frakce nebo použitím úzké frakce pórovitého kameniva s nízkou objemovou hmotností. Pórovité kamenivo vyrábíme buď uměle, nebo používáme tufy, tufity a další možnosti jsou organická plniva. Organické plnivo díky své přirozené pórovitosti dokáže vylehčit výsledný materiál. Organické plniva dělíme na přírodní a umělá. Umělá plniva jsou lehčené plastické látky, mezi které patří například pěnový polystyren. Mezi přírodní plniva řadíme nejčastěji odpady vznikající z průmyslové činnosti zpracováním dřeva či jiných rostlinných produktů. Organická plniva jsou nejčastěji na bázi celulózy, které způsobují řadu změn v betonu. Rozklad dřevnaté části plniva uvolňuje cukry do pojiva a tím omezuje tuhnutí a nástup pevností. Další problematickou vlastností těchto organických materiálů je nasákavost, která značně odebírá záměsovou vodu. Tu můžeme částečně zastavit pomocí úpravy materiálu vyluhováním nebo jeho mineralizací. Toto ošetření omezuje v největší míře právě nasákavost materiálu a v omezené míře zabraňuje látkám, které vznikají rozkladem dřevnaté části (rozklad celulózy, uvolňování cukrů) – v omezení tuhnutí a nástupu pevností betonu (dále jen LTP látky – látky omezující tuhnutí a nástup pevností betonu). [3]

Organickým plnivem, kterým se tato práce zabývá, je lněné vlákno, konopné pazdeří a vlákno. Jednou z výhod pazdeří používaného jako plnivo do betonu je jeho zdrsňelý povrch, který umožňuje lepší spojení s cementem. Zároveň pazdeří, které není povrchově upraveno, silně odebírá čerstvé směsi záměsovou vodu.



*Obrázek 8: Nezreagovaný cement po zkoušce 7 - denních pevností*

Mineralizující účinek mají v různé míře anorganické soli. Pro mineralizaci se nejčastěji používá roztok vodního skla nebo chloridu vápenatého. Dalšími chemikáliemi, které lze použít jsou fluáty, dusičnan draselný, dusičnan sodný, síran sodný, síran hlinitý, octan hlinitý, chlorid železitý, kreosot, parafin a živičné emulze. Dále se pro tento postup využívá cementové nebo vápenné mléko [3]. Pro tuto práci bylo použito ke zkoumání procesů a účinků úprav 10% roztoku hydroxidu sodného, Bindzilu 1440 (40% roztok oxidu křemičitého) a demineralizované vody.

Vzniklý konopný beton, jež je řádně proveden, má výborné tepelně – izolační vlastnosti, zvukově izoluje, je difúzně otevřený a nepoživatelný pro hlodavce a hmyz. Dá se použít pro podlahy, stropy a omítku. Nevýhoda je vysoké množství použitého cementu. Jednou z možností, jak zachovat dobré tepelně – izolační schopnosti a zároveň dosáhnout nižších nákladů je částečná náhrada cementu popílkou [3]. U nás se tento trend využití konopného betonu teprve rozšiřuje stejně jako používání tepelně – izolačních rohoží a desek. I když v tomto případě se dá říci, že rohože a desky nacházejí častější využití.

### **3.4 Výroba desek a rohoží**

Ve vydání časopisu Dektime 03/2011 je vydán článek o výrobě konopných desek a rohoží. Výroba konopných izolací probíhá na výrobní lince, kde vstupní surovinou je předem vyrobené a dovezené konopné rouno. Na začátku procesu je tzv. rozvolňovací jednotka, která konopné vlákno rozvláční a vzájemně oddělí pomocí ocelového bubnu s hroty o velikosti 40 mm. Současně s tímto procesem probíhá i rozvolňovací jednotka pro Bi – Co vlákno.

Bi – Co vlákno je výrobek z polypropylenu a polyetyleny. Toto vlákno je umělé pojivo, které po zahřátí pojí dohromady vlákno a pazdeří v desku či rohož. Další z možných pojiv je organické pojivo z kukuřičného škrobu, tak vznikají čistě přírodní výrobky. Takto připravená vlákna jsou poté na rozvláčňovacích jednotkách odvažována a pod tlakem nasávána do pneumatického dopravního systému linky. Vzájemné mísení konopného a Bi – Co vlákna probíhá v poměru 9:1 (konopí/Bi – Co vlákno). V další části se rozmělněná a odvážená vlákna o velikosti cca 70 – 80 mm nechají padat volně do silového zásobníku a dále na pracovní pás. Vše stále probíhá za neustálého odvažování, které zajišťuje výslednou objemovou hmotnost výrobku.



*Obrázek 9: Konopné rouno  
Zdroj: Dektime 03/2011*



*Obrázek 10: Bi - Co vlákno  
Zdroj: Dektime 03/2011*

Nekonečný pás vláknité směsi je dopraven k termofixační peci, která se skládá z pěti komor, kde ve čtyřech probíhá tavení pojiva a zajišťuje spojení s vlákny konopnými. Termofixační proces probíhá při teplotě 105 °C. Poslední z komor je chladicí komora, v níž dochází k postupnému snižování teploty až na 25 – 30 °C. Výsledný pás je připraven k dopravení na dělicí linku, která provede nařezání izolace na požadované rozměry. [6]

Při srovnání tepelně – technických vlastností materiálů, jejich ceny a rozměrů lze soudit, že kvalita výrobků z konopí je srovnatelná s výrobky od konkurenčních firem. Případná vyšší cena je kompenzována díky své ekologické stopě.

Doba růstu konopí, sklizeň, samotný tírenský proces a výroba izolačních rohoží a desek není tak náročná, jako u výrobků z minerálních a skelných vláken. Pro srovnání kapitoly 3.4.1 a 3.4.2 uvádí, jak probíhá výroba minerálních a skelných vláken.



### 3.4.1 Výroba minerálních vláken

Minerální vlákna jsou anorganické složky, vyráběné především pro tepelně – izolační účely připomínající ovčí rouno. Minerálním vláknům se jinak říká minerální vlna. Tento materiál je vyráběný rozvlákněním roztavených přírodních hornin (čedič, gabro, diabas), silikátových průmyslových odpadů (strusky) nebo jejich směsí. Tyto směsi se ve správném poměru v peci taví při teplotách 1350 – 1400 °C. Tavením vzniklá tekutá kamenná hmota vytéká z pece a stéká na rozvlákňovací kotouče. Odstředivým rozvlákňováním z kapiček taveniny v proudu vzduchu vznikají potřebná vlákna. Chladnější kapičky, které se již neprotáhnou, odletují od kotouče jako granálie. Tyto granálie jsou zpět navraceny do tavicí pece. Menší část granálií spolu s jemnými vlákny jsou unášeny vzduchem do usazovací komory. Pojivem minerálních vláken je neutrální vodný roztok (fenolformaldehydrezol), také je zde nanášen hydrofobizační přípravek (silikonový olej). Takto nanesená vlákna se pak v komoře usazují a pomocí pásových dopravníků dopravují do vytvrzovací komory. Ve vytvrzovací komoře při teplotě 180 – 220 °C jsou vlákna po dobu několika minut. Během této doby dochází k odparu vody a polykondenzaci (reakce dvou různých monomerů) pojiva. Příměs granálií v konečném výrobku je kolem 15 %. Snahou je dosáhnout co nejmenšího podílu granálií, jelikož nepříznivě ovlivňují tepelně – izolační schopnosti.

Z minerálních vláken se vyrábějí izolační desky o objemové hmotnosti  $\rho = 35 - 220 \text{ kg/m}^3$  a se součinitelem tepelné vodivosti  $\lambda = 0,035 - 0,045 \text{ W/m.K}$ . Výrobky z minerálních vláken se nejčastěji používají pro tepelné izolace šikmých a plochých střech, provětrávaných a kontaktních fasád, v rámci sendvičového obvodového zdiva, vnitřních konstrukcí a další. Nespornou výhodou izolace z minerální vlny je její požární odolnost. Třída reakce na oheň pro izolační materiály vyrobené z této vlny je A1, což se definuje dle ČSN EN 13501-1 Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb [39], jako nehořlavý materiál, který nepřispívá k vývinu požáru. V případě požáru zabraňují šíření ohně a neprodukují dým ani jiné toxické spaliny. Proto se tento materiál dá využít s výhodou při zateplování výškových budov, kde nad 22,5 m výšky, již nelze používat polystyrenové desky. Nevýhodou minerálních vln je náchylnost k navlhnutí, po níž dochází ke ztrátě izolačních vlastností a často i k nevratnému poškození. [2], [21]

### 3.4.2 Výroba skelných vláken

Skelná vlákna jsou anorganická vlákna vyráběná především pro tepelně – izolační materiály, tak jako vlákna minerální. Technologie výroby skleněných vláken je srovnatelná s technologií využívanou k výrobě minerálních vláken. Roztavená vstupní surovina (křemičitý písek, soda, vápenec, staré sklo) na teplotu kolem 1300 °C je rozfoukávána na vlákna o průměru 3 – 7 μm, která se ukládají na nepřetržitě se pohybující pás. Zpevnění vznikajícího materiálu probíhá postříkem syntetické tvrditelné pryskyřice (fenolformaldehydové) a příslušná část výrobní linky se v podstatě neliší od příslušné části výrobní linky pro minerální vlnu. Tepelně – technické vlastnosti jsou obdobné jako u výrobků z minerální vlny a taktéž jejich využití. I výrobky ze skleněných vláken patří do třídy reakce na oheň A1. Čili jsou definovány dle normy ČSN EN 13501-1 [39] jako nehořlavý materiál, který nepřispívá k vývinu požáru. Nasákavost se snižuje hydrofobizací a je s ní třeba počítat při skladování materiálu, jeho manipulaci a při zabudování. Objemová hmotnost vyráběných materiálů je v rozmezí  $\rho = 15 - 250 \text{ kg/m}^3$ . Nacházíme zde výrobky od měkkých rohoží až po polotuhé a tvrdé desky. Krom izolačních rohoží a desek se můžeme setkat i s vlákny, které se dodávají jako volná vlna cpaná do pytlů a určená k vyplňování dutin nebo obalování izolovaných prvků. Alkalicko - vzdorná vlákna taktéž nacházejí uplatnění jako výztuž v betonech. Takto vzniká tzv. vláknobeton a výztuž rozptýlená v něm může významně ovlivňovat některé jeho vlastnosti. Zlepšuje především schopnost odolávat projevům objemových změn, vlivu smršťování a zvyšují požární odolnost betonu. [2]

Důležitým faktorem, jež ovlivňuje kvalitu a použití izolačních materiálů na bázi vláken – ať už konopného vlákna s pazdeřím nebo minerálních a skelných vláken je typ třídy reakce na oheň. Norma ČSN EN 13501-1 Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb část 1: klasifikace [39] podle výsledků zkoušek reakce na oheň udává dělení materiálu dle třídy reakce na oheň. Toto rozdělení najdeme v příslušné tabulce č. 7.

Tabulka 7: Třídy reakce na oheň

<b>F</b>	Výrobky, pro které nebyla zjištěna žádná třída a nemohou být klasifikovány do žádné ze tříd A1, A2, B, C, D, E.
<b>E</b>	Výrobky schopné odolávat působení malého plamene po krátký časový interval bez významného rozšíření plamene
<b>D</b>	Výrobky vyhovující kritériím pro třídu E a schopné odolávat působení malého plamene po delší časový interval bez významného rozšíření plamene. Kromě toho jsou také schopny odolat působení tepla od jednotlivého hořícího předmětu za podstatného zpoždění a omezení uvolňování tepla.
<b>C</b>	Jako třída D ale vyhovující přísnějším požadavkům. Navíc při tepelném působení jednotlivého hořícího předmětu vykazují omezené rozšíření plamene.
<b>B</b>	Jako třída C ale vyhovující přísnějším požadavkům
<b>A2</b>	Vyhovující stejným kritériím EN 13823 jako pro třídu B. Kromě toho nebudou tyto výrobky za podmínek plně rozvinutého požáru významně přispívat ke kalorickému zatížení ani dalšímu růstu požáru.
<b>A1</b>	Výrobky třídy A1 nebudou přispívat k požáru v žádném jeho stadiu, včetně plně rozvinutého požáru. Z tohoto důvodu jsou automaticky považovány za vyhovující všem požadavkům pro všechny nižší třídy.

Z porovnání materiálů vyráběných z konopí a materiálů vyráběných z minerálních nebo skelných vláken je patrný rozdíl v odolnosti proti požáru. Výrobky z konopí, i když jsou upraveny retardérem hoření, spadají do kategorie E. Kategorie E, je charakteristická svou odolností proti působení malého plamene po krátký časový interval bez významného rozšíření plamene. Tato vlastnost je významnou nevýhodou tohoto materiálu. Oproti tomu výrobky z minerálních a skelných vláken patří do kategorie A1 a díky tomu lze výrobky na bázi minerálních a skelných vláken použít i u výškových budov nad 22,5 m, kde se již nedají použít výrobky z polystyrenu a nedaly by se použít ani výrobky z konopí. Z požárně - bezpečnostního hlediska je tedy výhodnější použít materiály na bázi sklených nebo minerálních vláken. Tyto vlákna ovšem mají jednu nespornou nevýhodu a tou je ekologická zátěž. Vstupní suroviny, jež jsou definovány v kapitole 4.4.1 Výroba minerálních vláken a v této kapitole 4.4.2 Výroba skelných vláken, spotřebují při své výrobě značnou energii. I následné vytvrzování probíhá za stálého temperování při teplotách kolem 200 °C. Oproti tomu u desek a rohoží z konopného pazdeří a vlákna probíhá výroba při teplotách kolem 105 °C.

### 3.5 Stavební materiály z konopí ve světě

Výrobky z konopí, které u nás teprve hledají širší využití, již v okolních zemích nachází dalekosáhlejší využití a najdeme zde již běžně postavené celé konopné domy. Jedním z největších a nejvýznamnějších pěstitelů a zpracovatelů konopí je Francie. Ve Francii najdeme několik firem zabývajících se jak jeho pěstováním, tak zpracováním. Jejich zkušenosti a rozsáhlost ve výrobě je záviděníhodná a je možno zde najít spoustu pramenů k čerpání. Francouzské „chanvre“ se do češtiny překládá jako konopí a pod tímto heslem najdeme spoustu odkazů na poli francouzských prodejců konopí.

Jednou z francouzských společností zabývajících se konopím je Technichanvre, která vznikla již v roce 1977. Ve svém sortimentu nabízí izolační rohože, desky a taktéž předem připravené směsi pro výrobu konopného betonu. Po roce 2000 u této firmy (a mnoha dalších) došlo k expanzi prodeje ekologických materiálů z konopí. Nabízený sortiment se tolik neliší od nabízeného u nás, je ovšem v mnohem obsáhlejší a nachází se zde větší konkurence mezi firmami. V dnešní době je již postaveno ve Francii z konopí několik stovek domů a tento směr stále pokračuje. To jen dokazuje, že konopné domy v ničem nezaostávají oproti klasickým a lidé o ně mají zájem.

Značným rozdílem oproti situaci u nás je v Evropě osevní plocha konopím. Největší podíly osevních ploch zastupují země jako Francie a Holandsko. Tyto země disponují velkým technickým zázemím pro pěstování, sklizeň a výrobu materiálů a výrobků na bázi konopí. V těchto zemích je velký zájem o výrobky na bázi technického konopí a nejsou již raritou postavené celé konopné domy. V poslední době přichází k rozšíření osevních ploch konopím i v Itálii. Vývoj nejdůležitějších osevních ploch za poslední dva roky si můžeme prohlédnout v tabulce č. 8.

*Tabulka 8: Vývoj osevních ploch konopí v evropských zemích v ha [24]*

	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>vývojový trend</b>
<b>Francie</b>	11605	10720	stabilní, mírný pokles
<b>Holandsko</b>	1100	1950	rostoucí trend
<b>Itálie</b>	450	900	rostoucí trend
<b>Ostatní země EU</b>	1360	1680	rostoucí trend, nové země
<b>Celkem</b>	<b>14515</b>	<b>15250</b>	<b>mírný nárůst</b>
<b>Podíl Francie</b>	80 %	70 %	

Rozvoj současné konopné technologie v Evropě byl taktéž umožněn architektem Ralfem Carpenterem z Velké Británie, který byl inspirován společností Isonchavre ve Francii a rozhodl se přinést ideu z konopí do své země a tak vznikl projekt The Suffolk Housing Society. V rámci projektu byly postaveny domy z konopí a srovnány jejich výhody a nevýhody s cihelnými a montovanými domy. Závěry z testu The Suffolk Housing Project ukazují, že konstrukce a odolnost domů vyrobených z konopí je přinejmenším stejná jako u tradičních konstrukcí. Množství spotřebovaného paliva pro provoz nebylo větší než u domů s klasickou konstrukcí. Zároveň ale bylo zjištěno, že únik tepla z cihelného domu v přední a zadní části obvodových zdí a přes okna byl větší v porovnání s domem z konopí. To se dá vysvětlit vysokou měrnou tepelnou kapacitou výrobků z konopí, která se pohybuje kolem  $c = 1600 \text{ J/kg.K}$  a udává, kolik tepla je nutné k ohřátí 1 kg hmoty o  $1^\circ \text{C}$ .

To znamená, že při zvýšení teploty uvnitř domu dochází k příjmu tepla materiálem. Tento proces působí i opačným způsobem. Při poklesu tepla ve vnitřních prostorech, teplo uložené v materiálu se postupně uvolňuje. To umožňuje lepší tepelnou pohodu uvnitř domu, vyšší teploty v zimě a nižší v létě. Oproti tomu akustická zkouška dokázala, že domy z konopí neizolují zvuk, tak dobře jako cihelný dům, ale i přesto splnily požadavek na zvukovou odolnost. Odolnost proti pronikání vody byla dostatečná v obou případech. Nakonec byla spočítána cena nutná k postavení obou typů domu. Cena za  $1 \text{ m}^2$  u konopného domu byla stanovena na 526 liber a u cihelného domu na 478 liber. Vyšší cena u konopného domu byla argumentována problémem, že výroba z konopí ve stavebnictví není obecně rozšířena jako stavby pomocí tradičních rozšířených postupů a taktéž díky nutnosti dovážet potřebný konopný materiál ze zahraničí. [24]

## 4. Anorganická pojiva

Termínem pojiva se označují látky, které lze snadno upravit do tekuté nebo kašovitě formy a následně přecházejí do tvaru pevného a jsou schopny k sobě spojit nesoudržná zrna a vytvořit tak jednu hmotu. Anorganická pojiva, jsou velmi jemné práškovité látky minerálního původu, které se míchají s vodou a jejich použití ve stavebnictví je nejčastější. Hlavní složka anorganických pojiv se získává tepelným zpracováním vhodné přírodní horniny nebo minerální směsi [2]. Tyto pojiva dělíme na vzdušná a hydraulická. Ke vzdušným pojivům se řadí vápno, vapenosíranová pojiva a další síranová pojiva jako například anhydrit nebo hořečnaté pojivo. Do skupiny hydraulických pojiv pak patří hydraulické vápno a cementy.

Pro praktickou část v této práci bylo jako pojivo organických plniv (konopí, lnu) vybrán cement. Výroba cementu probíhá z jílovitých vápenců (vápencových slínů) či vápence doplněného o hydraulické oxidy spolu s tufy a břidlicemi. Natěžený materiál je dopraven do drtičů, kde dochází rozdrčení kamenů na štěrk. Tato vstupní surovina a případné další korekční suroviny (např. struska, popílek, křemičitý písek) je rozvážena a vpravena do válcových, případně kulových mlýnů, kde dochází k rozemletí a vysušení surovinové směsi na jemný prášek. Výpal surovinové moučky probíhá za teplot 1300 – 1400 °C. Při těchto teplotách dochází ke slinování a výrazným chemickým změnám. Jejich výsledkem je vznik trikalciumpsilikátu neboli alitu, který je jedním z nejdůležitějších hydraulicky aktivních minerálů. Vznikajících slínkových materiálů je kolem dvaceti, z nichž nejvýznamnější jsou trikalciumpsilikát (alit), dikalciumsilikát (belit), trikalciumaluminát a tetrakalciumaluminárfelit (celit). Tyto čtyři slínkové minerály tvoří přes 90 % z celkové hmoty slínku a v rozhodující míře se podílejí na vlastnostech cementu [2], [25]. Tento slínek se poté po vychladnutí drtí a ukládá do skladovacích prostor. Odtud se poté odebírá a společně s přísadou sádrovce (regulátor tuhnutí) a dalších požadovaných přísad mele na jemně práškovitý produkt s měrným povrchem 225 – 400 m<sup>2</sup>/kg [2].

## 4.1 Beton

Mezi základní složky betonu patří plnivo, pojivo a voda. Doplnkovými složkami jsou příměsi a přísady. Beton je kompozitní materiál, přičemž nejběžněji popisovaný beton je cementový beton s anorganickým plnivem – kamenivem. V mém případě jsem využila jako plnivo organickou složku – konopné a lněné pazdeří a vlákno. Název beton byl zaveden francouzským inženýrem Belidorem v roce 1753 a pochází ze slova béton. První zmínky o použití umělého kamene neboli betonu, jsou známy ze staveb sloupů v Egyptě již v roce 3600 před n. l. Z období středověku se dochoval záznam o materiálu ze sopečného tufu, který po smíchání s vápnem tvrdnul i pod vodou. Delší období ovšem poté zůstalo bez dochovaných záznamů a to až do roku 1756, kdy byl beton použit v Anglii pro opravu majáku a až v 19. století byl definován a vyroben portlandský cement [2].

Pevnost betonu je určena fyzikálně – chemickými vlastnostmi použitého pojiva, tvrdostí plniva (kameniva) a velikostí vodního součinitele. Použité organické plnivo v mé práci určuje, že výsledný konopný, případně lněný beton bude svou objemovou hmotností patřit do kategorie lehkých speciálních betonů a to díky své přirozené vysoké pórovitosti plniva. U lehkých betonů se snažíme dosáhnout, co nejmenších objemových hmotností při co nejvyšších mechanických pevnostech. Velkou výhodou je vysoká tepelně – izolační schopnost související s nízkou objemovou hmotností při vhodné pórovitosti. Vzhledem k tomu, že vyšší pórovitost může zapříčinit také vyšší navlhavost a nasákavost, je také cílem dosáhnout trvalého obsahu vlhkostí, případně dobrých difuzních vlastností [3].

V betonech tvořených anorganickým plnivem zaujímá kamenivo 75 – 80 % objemu betonu a jeho hlavní funkcí je vytvoření pevné kostry v betonu s minimální mezerovitostí. Proto obsahuje různě veliká zrna ve vhodném poměru a tím dosahujeme obyčejného betonu, jehož objemová hmotnost se po vysušení do ustálené hmotnosti pohybuje v rozmezí  $\rho = 2000 - 2600 \text{ kg/m}^3$ . V této práci je ovšem použito plnivo organické – konopné pazdeří, vlákno a vlákno lněné. Tyto materiály mají nižší objemovou pevnost a tak se dá předpokládat i nižší objemové hmotnosti vzniklého betonu.

Tabulka 9: Objemové hmotnosti konopí a lnu v  $\text{kg/m}^3$  [24]

<b>Konopné stonky</b>	75
<b>Konopné pazdeří</b>	65 – 100
<b>Konopné dlouhé vlákno lisované</b>	350 – 400
<b>Koudel lisovaná</b>	250 – 300
<b>Len stonky</b>	75

Objemová hmotnost konopného pazdeří je  $\rho = 65 - 100 \text{ kg/m}^3$ . V případě lněného pazdeří je objemová hmotnost ještě o něco nižší, jelikož samotná rostlina obsahuje pazdeří mnohem jemnější. Uváděná hodnota objemové hmotnosti vláken konopného je vysoká, jelikož se jedná o lisované balíky. V případě určení objemové hmotnosti vlákna ve volném stavu můžeme vycházet z poznatků tepelně – izolačních rohoží. Objemové hmotnosti těchto materiálů se pohybují  $\rho = 30 - 45 \text{ kg/m}^3$  a to se již jedná o vzniklé výrobky pojené Bi – Co vláknem, případně přírodním pojivem. Reálná hodnota objemové hmotnosti vláken by tudíž mohla být ještě nižší. Výsledná objemová hmotnost konopného betonu (z pazdeří) se tak dle údajů společnosti Chanvribat pohybuje v  $\rho = 250 - 500 \text{ kg/m}^3$ . Výsledné betony tím spadají do kategorie lehkých tepelně – izolačních betonů.



## Praktická část

První část této práce se zabývala historickými, současnými a budoucími možnostmi využití technického konopí, případně lnu ve stavebních hmotách. Tato teoretická část, se taktéž zaměřila a shrnula současné tendence vývoje materiálů na bázi technického konopí, jak u nás, tak ve světě. Praktická část je dále zaměřena na dvě části. První z nich se týká měření a zpracování konopí ve spolupráci s firmou Agritec Plant research, s.r.o. (dále jen Agritec). Kde celkem 30 variet technického konopí vypěstováno firmou, bylo pro účely výzkumu připraveno na zjišťování výnosů hmoty. Zjištěné výnosy hmot, obsahují množství získaného konopného dlouhého vlákna, krátkého vlákna (koudele) a pazdeří [t/ha] po jeho zpracování. Právě poměr výnosů dlouhého vlákna/krátkého vlákna/pazdeří, je důležitý pro určení, kolik jsme schopni z dané variety technického konopí získat pro potřeby stavebních hmot. Ve spolupráci s firmou, taktéž proběhl výběr materiálu (konopného vlákna a pazdeří, lněného vlákna), který byl dále v prostorách laboratoří fakulty stavební, zpracováván ve formě kompozitních materiálů s anorganickou maticí.

Druhá část praktické části probíhala v laboratořích fakulty stavební. Zde byl získaný materiál převezen a bylo s ním dále pracováno. Práce zde prováděná, byla zaměřena na základní výzkum konopí a zkoušení úpravy konopí tak, aby bylo co nejvhodnější pro použití do betonu (praní, chemická úprava, počátky tuhnutí, pevnostní charakteristiky). Další částí byla modifikace konopného vlákna a pazdeří, jež bylo dále testováno na účinky provedených úprav a na spojení pazdeří s cementovou maticí v konopném betonu.

Konopné pazdeří použité v této práci, jakožto organické plnivo, značně ovlivňuje chování cementového tmele. Z tohoto důvodu bylo v rámci výzkumu přistoupeno k jeho úpravám. Tyto úpravy mají za úkol vyluhování těch látek organických materiálů, jež by cementový tmel mohly ovlivnit nebo můžeme použít mineralizaci, která má za následek uzavření pórů, zabraňuje pronikání polysacharidů do betonu a snižuje nasákavost konopného pazdeří.

Pro úpravy byly vybrány 3 chemikálie a to:

- demineralizovaná voda
- 10% roztok NaOH
- Bindzil 1440.

Ovlivnění působení ošetření pazdeří na počátek doby tuhnutí a ovlivnění pevnosti betonu, bylo zkoušeno na výluzích z pazdeří upraveného a pazdeří neošetřeného. Z výluhů byly vyrobeny trámce pro zkoušení cementu dle normy ČSN EN 196-1 Metody zkoušení cementu – část 1: Stanovení cementu [27].

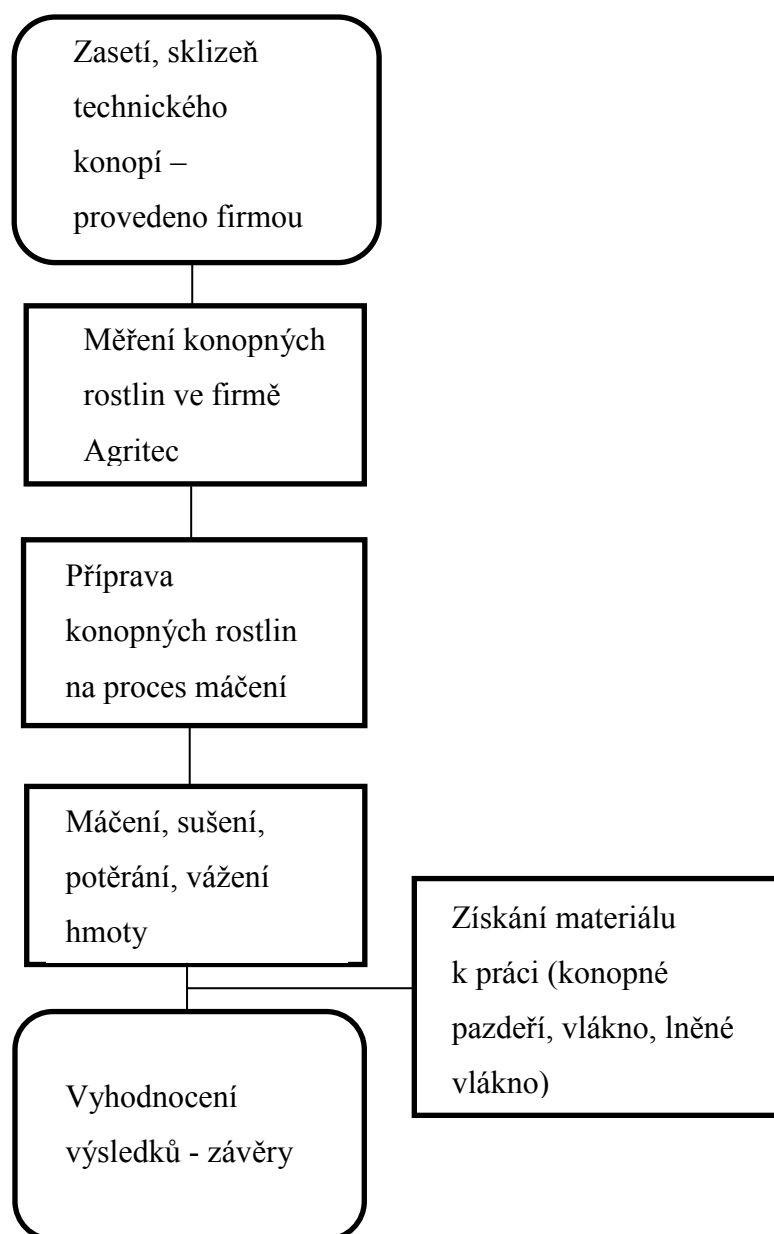
Cement jako pojivo tohoto kompozitního materiálu byl vybrán, jako nejčastěji používané pojivo, jež je zároveň dobře dostupné, a taktéž již používané pro výrobu konopného betonu. Cílem použití cementu a upraveného pazdeří byla co nejlepší hydratace cementu. Neošetřené pazdeří totiž silně ovlivňuje hydrataci cementu svou nasákavostí. Za účelem zvýšení jemných podílů plniva byl do kompozitu použit křemičitý normalizovaný písek CEN. Velká nevýhoda spočívá ve vysokém množství použitého cementu. Pro další práci by bylo vhodné vyzkoušet částečnou náhradu cementu popílky.

Jako doplňující práce bylo provedeno mikroskopické měření konopné pazdeří a vlákna na optickém mikroskopu. Cílem bylo zjištění, zda provedená úprava plnivo ovlivní - čili stupeň rozvláknění a uzavření pórů. Taktéž byla uskutečněna tahová zkouška konopného vlákna pro posouzení ovlivnění pevnosti ošetřením. To by mohlo být důležité pro další výzkum, zda mineralizované vlákno s pazdeřím (Bindzilem), dokáže pozitivně ovlivnit mechanické vlastnosti kompozitu.

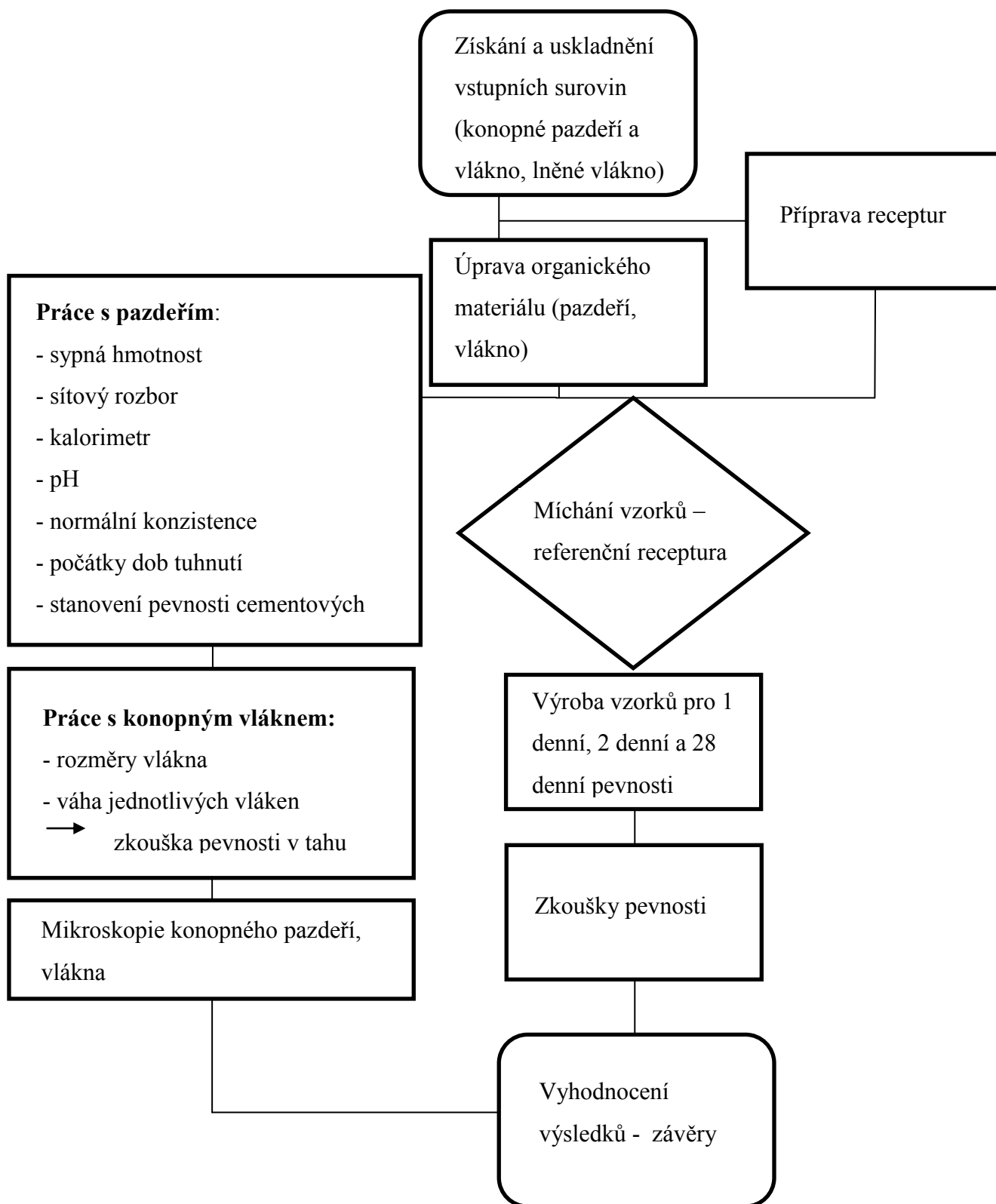
## 5. Metodika pracovních postupů

Následující vývojové diagramy přibližují postup provedených prací, jež v průběhu zpracování bakalářské práce proběhly. První z nich se týká prací na zjišťování výnosů hmoty. Tento výzkum a zpracování proběhlo ve spolupráci s firmou Agritec. Druhý vývojový diagram se již týká prací v laboratoři.

### Vývojový diagram pro zjištění výnosů hmoty



## Vývojový diagram postupu prací v laboratoři



## 6. Metodika zkoušení a použité materiály

Důležitou poznámkou je využití norem pro zkoušení. Část postupů práce a zkoušek se pouze drží normativního postupu. Zejména se jedná o zkoušky sytné hmotnosti, síťového rozboru, zkoušky pevnosti v tlaku u vzorků o hraně  $a = 100 \text{ mm}$  a o zkoušku pevnosti v tahu konopného vlákna. Pro tyto zkoušky v případě práce s organickým materiálem – konopným pazdeřím, vláknem, v podstatě normy neexistují, a tak bylo třeba, vytvořit vlastní metodiku zkoušení. Další část této kapitoly poté popisuje použité materiály pro práci v laboratořích.

### 6.1 Objemová hmotnost čerstvé směsi

- dle normy ČSN EN 12350-1 Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost [31]

### 6.2 Pevnostní charakteristiky

- dle normy ČSN EN 12390-1 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 1: Tvar, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy [32]
- dle normy ČSN EN 12390-3 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles [33] (*upravena rychlost zatěžování*)
- dle normy ČSN EN 12390-7 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu [34]
- dle normy ČSN EN 196-1 Metody zkoušení cementu – Část 1: Stanovení pevnosti [27]

### 6.3 Normální konzistence, doba počátku tuhnutí

- dle normy ČSN EN 196-3+A1 Metody zkoušení cementu – Část 3: Stanovení dob tuhnutí a objemová stálosti [35]

### 6.4 Pevnost vlákna v tahu

- dle normy ČSN EN 14889 -2 Vlákna do betonu – Část 2: Polymerová vlákna – Definice, specifikace a shoda [29] (*upraveno s ohledem na vlastnosti konopného vlákna*)

## 6.5 Sypná hmotnost pazdeří

- dle normy ČSN EN 1097-3 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 3: Stanovení sypné hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva [36]

## 6.6 Stanovení zrnitosti – síťový rozbor

- dle normy ČSN EN 993-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Síťový rozbor [37] (*upraveno s ohledem na vlastnosti konopného pazdeří*)

## 6.7 Stanovení nasákavosti

- dle normy ČSN EN 1097-6 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti [38] (*upraveno s ohledem na vlastnosti konopné pazdeří*)

## 6.8 Použité materiály

Tato kapitola popisuje materiály, jež byly využity pro práci v laboratoři. Jedná se o konopné pazdeří a vlákno, cement, záměsovou vodu, normový písek CEN s plynulou granulometrií a použité chemikálie jako demineralizovaná voda, koloidní roztok oxidu křemičitého Bindzil 1440 a 10% roztok NaOH.

### 6.8.1 Konopné pazdeří, vlákno

Použité konopné pazdeří použité pro tuto práci bylo od pí Benešová, Teplice. Mělo největší podíl frakce 8 – 16 mm a poté 4 – 8 mm. Zjištěná sypná hmotnost byla  $\rho_s = 53 \text{ kg/m}^3$ . Pazdeří vyrobené na univerzální sekačce FRITSCH, bylo zpracováno z konopných stonků, poskytnutých ze zdrojů firmy Agritec.

Vlákno zkoumané pro pevnost v tahu bylo variety Monoica a bylo získané z prostředků firmy Agritec. Celková délka dlouhého vlákna byla cca 800 mm, vlákno bylo dále zkráceno na délku 160 mm pro chemickou úpravu a zkoušky v tahu.

### **6.8.2 Cement**

Použitým pojivem pro kompozitní materiál na bázi pazdeří, byl vybrán portlandský cement dle EN 197-1 – CEM I 42,5 R s rychlým náběhem počátečních pevností. Požadovaný počátek tuhnutí dle EN 197-1 je stanoven na  $\geq 60$  min.

### **6.8.3 Záměsová voda**

Na vodu používanou v betonech jsou kladeny nároky dle ČSN EN 1008: Záměsová voda do betonu – Specifikace pro odběr vzorků, zkoušení a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané při recyklaci v betonárně, jako záměsové vody do betonu [28]. Všechny tyto nároky splňuje voda z vodovodního řádu, která byla pro výrobu vzorků použita.

### **6.8.4 Písek**

Jako plnivo byl použit normový písek s plynulou granulometrií odpovídající ČSN EN 196 – 1.

### **6.8.5 Demineralizovaná voda**

Voda, která byla zbavena procesem destilace rozpuštěných minerálních látek. Je to čirá, bezbarvá kapalina bez chuti a zápachu. Je nevodivá, největší hustotu  $1 \text{ g/cm}^3$  má demineralizovaná voda při  $4^\circ\text{C}$ , pH vody je neutrální [26]. V této práci byla použita pro vyluhování LTP látek z organického plniva (konopné pazdeří, vlákno).

### **6.8.6 10% roztok NaOH**

Roztok byl vyroben smícháním s vodou z 50% roztoku NaOH. Hydroxid sodný je silně zásaditá anorganická, hygroskopická sloučenina, jež je silně na vzduchu pohlcuje oxid uhličitý. Použitím hydroxidu sodného došlo k výskytu výkvětů na povrchu vyrobených těles působením  $\text{Na}^+$  iontů.

### 6.8.7 Bindzil 1440

Použitým mineralizačním prostředkem v této práci je mléčně zabarvený roztok kyseliny křemičité ve vodě Bindzil 1440 z důvodu nejvyššího obsahu  $\text{SiO}_2$ , kterého je zde kolem 40 %hm. Bindzil se používá při výrobě žáruvzdorných materiálů, nátěrových hmot, ve stavební chemii a jako složka sanačních přípravků. Jeho specifikace jsou uvedené v Tabulka 10: Parametry, Bindzil 1440.

*Tabulka 10: Parametry, Bindzil 1440*

<b>Parametry</b>	<b>Bindzil 1440</b>
$\text{SiO}_2$ (% hm.)	38,6 – 40,6
$\text{Na}_2\text{O}$ (% hm.)	0,35 - 0,60
Hustota ( $\text{kg/m}^3$ )	1288 – 1307
pH	9,9 – 10,9
Viskozita ( $\text{Nsm}^{-2}$ )	Max 30



## 7. Zpracování konopí

Důležitým kritériem pro získání konopného pazdeří je výnos hmoty. Čím více dřevité části – tím větší množství pazdeří. Pazdeří primárně vzniká jako zbytková část při získávání vlákna a ve většině případů se již dále nevyužívá. V zahraničí, kde mají lepší vybavenost na zpracování konopí (např. Francie) se ovšem získané pazdeří využívá dále. Vzhledem tomu, že pazdeří tvoří až 35 % celkové hmotnosti rostliny, nejedná se o zanedbatelný údaj, a tak jeho využití má vysoký potenciál. Na prvním místě je ovšem získání co nejkvalitnějších vláken.



*Obrázek 11: Dřevitá část konopného stonku*

Pro zbytkovou část – pazdeří, můžeme nalézt v dnešní době mnohostranné využití. Důležitým kritériem pro výběr variety rostliny, která má být pěstována, je poměr kvalitního vlákna a množství vzniklého pazdeří. Pro tento výběr jsou nutné zkušenosti a taktéž znalost výnosů hmoty jednotlivých variet. Výzkum výnosů hmoty konopné rostliny umožnila firma Agritec, která taktéž poskytla materiál k práci (konopné a lněné vlákno, konopné stonky). S tímto materiálem bylo dále pracováno v laboratořích fakulty stavební, kde byla provedena zkouška pevnosti konopného vlákna v tahu. Zpracování konopných stonků proběhlo za účelem zjištění, jestli jsme schopni si tento materiál sami připravit.

## 7.1 Výnos hmoty technického konopí

Zjištění výnosu hmoty, začíná již prvotním určením velikosti výsevku (kg/ha). Velikost výsevku ovlivní konečný výnos stonků, semene a jakost vlákna. Výsev je dán seřízením secího stroje. Dalším krokem, je při vzcházení rostliny umístění do každé parcely rámeček o velikosti  $\frac{1}{4} \text{ m}^2$ , ze kterého se před sklizní vytrhají všechny rostliny a ty se spočítají a svážou do svazku. Pro zpracování a zjištění výnosu hmoty, bylo vyseto a sklizeno několik variet konopí. Dohromady byly svázány dle druhu na 30 svazků konopí. Svazky byly převezeny a uskladněny v budově, v prostorách firmy, kde na ně nepršelo, a kde taktéž proběhla příprava k dalšímu zpracování.



*Obrázek 12: Uskladněné konopí*



*Obrázek 13: Vážení svazku konopí*

Měření rozměrů konopí a přípravu pro další zpracování, jsem provedla ve spolupráci s pracovníky firmy Agritec. Měřenými rozměry byla váha svazku konopí, počet kusů ve svazku, délka jednotlivých rostlin, délka květenství a průměr rostliny. Délka rostliny se měří od začátku hypokotylu (nejspodnější článek stonku mezi kořínkem a listy) po konec rozvětvení s přesností 0,1 cm. Výsledek se zaokrouhlí a vypočte se průměr. Průměr rostliny

měříme také na prvním hypokotylu. Průměrné hodnoty z měření přikládám v následující Tabulce 11.

*Tabulka 11: Data Šumperk, měření konopí*

Název variety, svazku	Počet rostlin ve svazku	Hmotnost svazku [g]	Průměrná výška rostlin [cm]	Průměrná tloušťka rostlin [mm]	Průměrná délka květenství [cm]
<b>Carmagnola</b>	7	11685	348	15,9	
<b>Ferimon</b>	19	4520	201	6,7	
<b>Fedora</b>	28	210	154	5,01	
<b>Epsilon</b>	27	380	191	5,09	
<b>Santhica</b>	20	520	206	5,72	
<b>Felina</b>	19	600	215	6,9	
<b>Markant</b>	22	700	206	7,05	
<b>Futura</b>	12	710	278	9,3	
<b>Fibrol</b>	17	450	205	6,5	34
<b>Tygra</b>	21	1400	202	6,9	34
<b>USO - 31</b>	20	420	198	5,7	29
<b>Bialobrezskie</b>	13	520	234	4,1	39
<b>Uniko - B</b>	15	680	239	4,3	40
<b>Carmagnola</b>	14	1130	293	9,3	48
<b>Codimono</b>	12	280	252	6,8	28
<b>Beniko</b>	11	640	250	8,7	43
<b>Finola</b>	34	120	111	4,1	27
<b>Codimono</b>	9	4630	187	8,4	54
<b>Bialobrezskie 2MKS</b>	16	360	211	6,7	34
<b>Carmagnola</b>	17	400	212	7,4	23
<b>CS</b>	6	550	322	10,7	67
<b>Carmagnola 1MKS</b>	12	760	228	9,9	44
<b>Bialobrezskie ošetřená</b>	16	810	257	8,7	41
<b>Bialobrezskie neošetřená</b>	8	250	249	8,1	62
<b>Bialobrezskie 1MKS</b>	22	430	188	5,7	31
<b>Carmagnola Neoš</b>	13	810	293	10,1	33
<b>KC Dóra</b>	17	660	275	7,7	31
<b>Monoica</b>	14	630	271	7,8	26
<b>Tiborszallasi</b>	22	480	245	6,1	20
<b>Tisza</b>	10	240	249	6,7	40

Celkem bylo naměřeno 30 svazků konopí, jejichž váhové hodnoty se pohybovaly v rozmezí  $m = 120 - 1400$  g. Délka květenství nebyla u prvních osmi svazků změřena. U zbývajících 22 svazků již změřena byla, spolu s výskytem samčích rostlin ve svazku. Rostliny byly po měření střiženy v délkách 1 m a každý tento oddíl se opatřil štítkem s číslem. Rostliny byly děleny na 3 délky, pokud to dovolila výška rostliny. V číslech měření se pod hodnotou 1. – nachází spodní část rostlin. Pod hodnotou 2. – střední část (nebo horní) a pod hodnotou 3. – horní část. Značení bylo nutno dodržet pro rozlišení částí rostliny pro máčení a tírenské zpracování. Výsledkem tírenského zpracování je výnos hmoty.



*Obrázek 14: Konopný materiál připravený k máčení*

Před tírenským zpracováním – čili získáním vlákna ze stonku, bylo třeba provést několik příprav, které zpracování usnadní. Prvním krokem je máčení. Máčení se provádí jen u malého množství vzorku, aby bylo dosaženo stejných podmínek pro testované materiály. Vzorek odsemeněného stonku o určité hmotnosti se umístí do betonového bazénu s keramickými okraji, kde se zalije vodou o teplotě  $32 - 34$  °C. Zde jsou vzorky umístěny po dobu 4 až 5 dní. Po ukončení máčení se stonek propere v čisté  $20$  °C teplé vodě a nechá se okapat. Poté se umístí do sušárny provzdušňovanou horkou párou. Po vysušení se stonek nechá 14 dní odležet, aby nabral vzdušnou vlhkost, to umožní lepší oddělení vlákna od stonku [24].

Další možností přípravy stonku pro zpracování je jeho rosení. Stonky se rovnoměrně rozloží na poli nebo na rosiště (posečené travnaté povrchy). Zde se rosí v průměru 3 týdny. Vše závisí na teplotě, vlhkosti vzduchu a srážkách – rosení může probíhat až 6 týdnů. V průběhu rosení se stonek 2 – 3x obrací. Urosené stonky se sváží do otepí a nechají se odležet. Po proběhnutí tohoto procesu se přechází rovnou ke stanovení obsahu vlákna ve stonku. Tento postup nebyl pro měřené svazky konopí využit [5].

### **Postup tírenského zpracování**

Potěrací linka (Obrázek 1: Potěrací linka firmy Agritec), na které se provádí zpracování, se skládá z několika dílčích strojů, které jsou vzájemně propojeny a po spuštění a vložení konopných stonků probíhá automatické zpracování až po výsledný materiál – třené konopné vlákno. Pro pochopení principu potěrací linky je třeba znát jeho jednotlivé části:

- rozprostírací stůl – rozmělnění konopí
- výčeska – zde se stonek zbaví zakřivených stonků, plevel
- rovnací lišty – urovňují stonek v kořenové části
- kalandr – rozmělní dřevitou část stonku, zbaví stonek kořene
- oflakovací turbína – odstranění pazdeří z okvětní části, odstranění pazdeří pro kořenovou část
- vynášecí pás – vynáší zbytky konopí a pazdeří
- výtřaska – část, kde se zařízení zbavuje pazdeří (odsáváno do cyklonu)
- ventilátor – odsává prach a vynáší pazdeří (do cyklonu).

Postup zpracování je tedy následující:

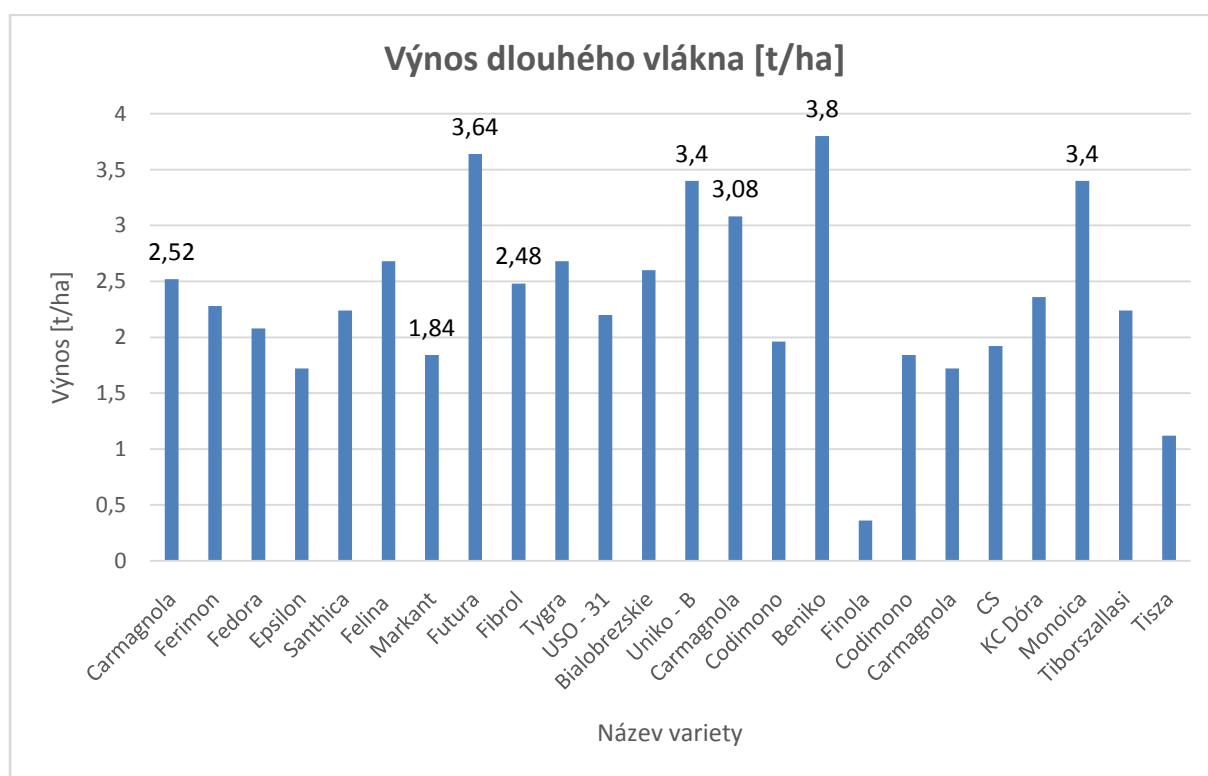
pracovnice rozmělní na rozprostíracím stole otepí konopí nebo stonky a vloží je do potěracího stroje. Ve výčesu se stonek zbaví okvětní, kořenové části stonků a plevel. Stonek dále postoupí k rovnací liště, ta naráží do kořene konopí a srovná je pro postup do válcového kalandru. Kalandr rozmělní pazdeří na stoncích a zbavuje části kořenů. Po vstupu do oflakní turbíny je okvětní část zbavena pazdeří a v další oflakní turbíně se zbývající část stonku zbaví pazdeří. Nakonec vzniklé třené konopí vystupuje na lištu, kde jej pracovnice odeberou a ukládají do balíků. Veškerý odpadový materiál (zakřivený stonek, plevel, pazdeří), jež se uvolňoval v procesu potírání, je vynášen nekonečným pásem do výtřesky, kde se zbavuje pazdeří (odsáváno do cyklonu). Zbylé části stonku jsou materiálem pro výrobu koudele [5].



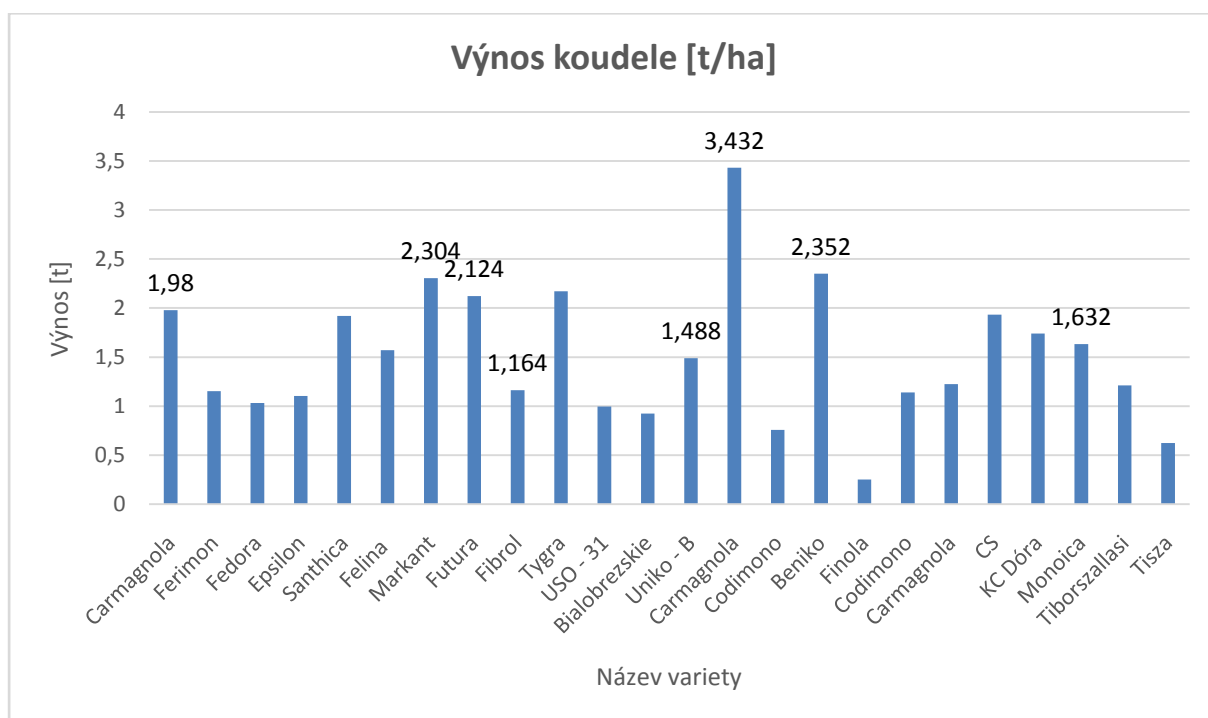
## Závěr

Samotné stanovení obsahu vlákna se provedlo na stroji značky SMT – 200, na kterém dochází k lámání, potěrání a oflakování konopí. Zpracování probíhá tak, aby se dosáhlo maximálního množství dlouhého vlákna, co nejlepší jakosti [5]. Po dokončení zpracování se jednotlivé výnosy hmoty zváží a vyhodnotí se výnosy hmot. Tyto výsledky jsou důležitým kritériem pro výběr vhodné rostliny, jež by poskytovala dobrou jakost konopného vlákna a zároveň dostatečné množství pazdeří pro další zpracování. Pazdeří, jež vzniká jako odpadový materiál, jelikož není primárním výsledkem tírenského zpracování (tím je dlouhé vlákno, poté vlákno krátké – koudel), by se po odchytávání z cyklonu mohlo dále skladovat a použít pro stavební či jiné účely.

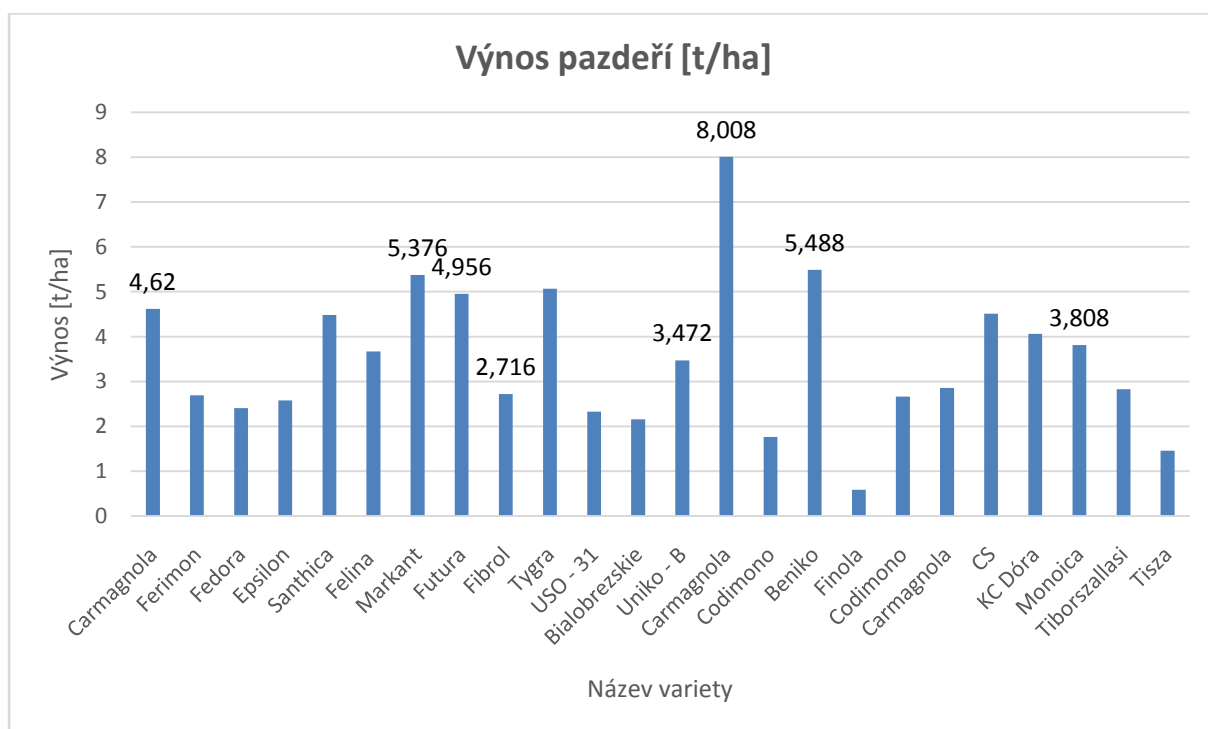
Hmotnostní výsledky jednotlivých produktů byly zpracovány do naměřených dat a vzájemně porovnány. Zpracované grafy přikládám níže.



Graf 1: Výnos dlouhého vlákna [t/ha]



*Graf 2: Výnos koudele [t/ha]*



*Graf 3: Výnos pazdeří [t/ha]*

Výsledky byly převedeny na výnos hmoty, jež můžeme z dané variety získat. Vzhledem k předpokladu pěstování konopí primárně na vlákno, je třeba nejdříve zhodnotit výnos dlouhého vlákna. Největší výnos hmoty v poměru výnos vlákna/koudele/pazdeří poskytuje jednoznačně varieta Beniko. Varieta Carmangola má vysoký podíl koudele a pazdeří. Ve výnosu dlouhého vlákna ovšem nedosahuje vysokých hodnot a má tedy nejlepší potenciál pro čistě průmyslové (stavební) využití. Z uvedených výsledků musíme vzít v potaz, že jestli jsme schopni z výměry 1 ha získat až 5,5 t pazdeří, není to zanedbatelná hodnota. Zároveň, jak ukazuje práce [8], je možno použít v praxi pazdeří, které není zbavené všech zůstatků vláken. Díky tomu, by nemusely být nároky, na vybavení tírenských linek u nás, tak vysoké. Vzniklé pazdeří by se odchyťovalo z cyklonu a mohlo by se dále využít.

## 7. 2 Výroba pazdeří

Získávání pazdeří z konopného stonku je komplexní záležitostí, jež není zcela jednoduchá. Bližší postup je uveden v kap. 6.4. V rámci výzkumu jsme se rozhodli pro zpracování vlastního konopí. Čili se zjišťovalo, zda je možné, abychom si pazdeří připravili v našich laboratorních podmínkách. Konopné stonky byly poskytnuty firmou Agritec. Tyto stonky byly nemáčené, již po potěracím procesu a získání dlouhého vlákna. Tento zbylý materiál bylo třeba roztřídit a posekat. Zpracování stonků bylo umožněno hornicko-geologickou fakultou, jež ve svých laboratořích výzkumného centra hornin vlastní univerzální řezací mlýn FRITSCH. Pomocí toho přístroje byly konopné stonky nařezány.



*Obrázek 15: Univerzální řezací mlýn FRITSCH*



Při práci s mlýnem došlo k nutnosti stonky ručně dotřídit. Bez ručního dotřídění nebyl mlýn schopen stonky řádně posekat. Vznikala tak hmota drceného pazdeří a chuchvalců zbylého vlákna, jež ucpávaly řezací mlýn. Tyto zbylé vlákna byly tedy odstraněny a zvlášť došlo k sekání zbytků vlákna bez řezacího nadstavce a dřevité části stonku s nadstavcem. Tímto způsobem bylo získáno pazdeří frakce 4 – 8 mm a velmi jemně namleté pazdeří.



*Obrázek 16: Oddělené vlákna*



*Obrázek 17: Posekané vlákna*



*Obrázek 18: Oddělené pazdeří*



*Obrázek 19: Posekané pazdeří*

Získané množství pazdeří a čas nutný k jeho získání, byl vzhledem k podavací nádobě příliš vysoký. Tento řezací mlýn nebyl schopen připravit pazdeří nutné kvantitativně pro výrobu stavebního kompozitu. Taktéž tímto způsobem získané pazdeří nedosahovalo potřebné kvality. Nicméně i práce s tímto materiálem by mohla poukázat na nutnost kvality používaného pazdeří a ovlivnění takto kvalitním pazdeřím mechanicko – fyzikálních vlastností vzniklého kompozitu. Tento materiál nebyl vzhledem k výši získaného množství dále použit.

## 8. Práce v laboratoři

### 8.1 Úprava organického materiálu

Organický materiál využívaný v této práci (konopné pazdeří a vlákno, lněné vlákno) je specifické uvolňováním LTP látek, jež byly více přiblíženy v kap. 4.3. Jeho úpravou, (vyluhováním, mineralizací) se dá částečně těmto projevům zabránit. Z tohoto důvodu se přistoupilo k jeho ošetření. Chemikálie použité pro úpravu, jsou definované v kap. 7.8.

Konopné pazdeří, vlákno a lněné vlákno bylo máčeno v demineralizované vodě, 10% roztoku NaOH a v Bindzil 1440 po dobu 1 h a 24 h. Následně bylo vybráno a vysušeno v sušárně při teplotě  $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  do ustálené hmotnosti. Výsledné účinky úprav lze pozorovat na výsledcích dalších zkoušek. Speciálně se jedná o tyto zkoušky:

- určení sypané hmotnosti
- nasákavosti
- určení zrnitosti pazdeří pomocí síťového rozboru
- pevnosti vzorků krychle, o hraně  $a = 100\text{ mm}$  (1 denní, 2 denní, 28 denní)
- ovlivnění pevnosti cementových trámů velikost  $40 \times 40 \times 160\text{ mm}$

#### 8.1.1 Úpravy pazdeří a vlákna – máčení, sušení

Pro účinky úprav bylo použito pazdeří od p. Benešová Teplice. Konopné a lněné vlákno využívané pro zkoušku tažnosti vlákna bylo poskytnuto firmou Agritec. Použitými vlákny byly svazky se značením Monoica – A, Monoica – C a Benico – C. Pro chování lněného vlákna na účinky chemické úpravy, bylo experimentálně vyzkoušeno ošetření přadného lnu.

Vlákno ve svazcích o délce cca 800 mm bylo rozděleno na délku cca 160 mm. Následně bylo v oddělených nádobách dle variety ponořeno do dané chemikálie po dobu 1 h a 24 h. Po uplynutí této doby bylo vybráno a umístěno do sušárny o teplotě  $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Zde se sušilo do ustálené hmotnosti. U vláken ponořených do chemikálie 24 h se projevilo vysoké nasáknutí materiálu chemikálií, a tak byla nutná delší doba sušení do ustálené hmotnosti (až 72 h).



*Obrázek 20: Vlákno máčené v NaOH, před sušením*

Na lněných vláknech byl po vytažení z chemikálií patrný vysoký stupeň rozvláknění. Největší rozvláknění bylo vidět u použitého 10% NaOH. Toto poškození bylo tak vysoké, že bylo rozhodnuto s ním dále v práci nepokračovat.

Úprava pazdeří proběhla následovně. Do nádoby, ve které bylo pazdeří ošetřováno, byla odměřena dávka pazdeří dle odsypání do forem o hraně  $a = 100$  mm. Tímto způsobem byly vždy připraveny pro jednu dávku chemikálie 4 formy. Následný proces máčení a sušení byl použit stejný jako pro vlákna. Při sušení materiálu, byl znát rozdíl nasákavosti chemikálie daným materiálem. Nejvyšší vlhkost a dobu nutnou k sušení potřebovalo pazdeří máčené v demineralizované vodě a v 10% roztoku hydroxidu sodného.

## 8.2 Sypná hmotnost

Stanovení sypné hmotnosti pazdeří proběhlo dle normy ČSN EN 1097-3 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 3: Stanovení sypné hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva [36].

### 8.2.1 Zkouška sypné hmotnosti pazdeří

#### Zkušební postup

- vzorek se vysuší do ustálené hmotnosti
- zvážíme prázdnou nádobu o známém objemu  $V$  a zaznamenáme hodnotu jako  $m_1$
- nádobu přeplníme pazdeřím, ne však výše než 50 mm nad horní okraj nádoby
- odstraníme a srovnáme přečnívající pazdeří tak, aby nedošlo ke zhutnění pazdeří
- plná nádoba se zváží a její hmotnost se zaznamená jako hodnota  $m_2$ .

Výpočet sypné hmotnost, pak proběhne dle:

$$\rho_b = \frac{m_2 - m_1}{V} [kg/m^3]. \quad (1)$$

Tabulka 12: Sypná hmotnost pazdeří

Úprava pazdeří	$m_2$ [kg]	$m_1$ [kg]	$V$ [m <sup>3</sup> ]	$\rho_s$ [kg/m <sup>3</sup> ]
pazdeří neupravené	0,2400	0,1650	0,001	75,00
pazdeří Bindzil 1 h	0,2995	0,1650	0,001	134,50
pazdeří Bindzil 24 h	0,3150	0,1650	0,001	150,00
pazdeří NaOH 1 h	0,3390	0,1650	0,001	174,00
pazdeří NaOH 24 h	0,3485	0,1650	0,001	183,50
pazdeří deminer. 24 h	0,2280	0,1650	0,001	63,00

Tabulka 13: Sypná hmotnost vypraného pazdeří

Úprava pazdeří	$m_2$ [kg]	$m_1$ [kg]	$V$ [m <sup>3</sup> ]	$\rho_s$ [kg/m <sup>3</sup> ]
pazdeří neupravené	0,2112	0,1650	0,000660	70,00
pazdeří Bindzil 1 h	0,2356	0,1650	0,000390	181,03
pazdeří NaOH 1 h	0,2110	0,1650	0,000295	155,93

## **Závěr**

Sypná hmotnost byla spočítána jako aritmetický průměr tří měření. Výsledky (Tabulka 12: Sypná hmotnost pazdeří) ukazují, že neupravené pazdeří a pazdeří ošetřené demineralizovanou vodou si zachovává svou sypnou hmotnost. U pazdeří mineralizovaného Bindzilem a roztokem hydroxidu sodného lze pozorovat rozdíl v sypné hmotnosti dle působení délky mineralizace. Čím delší proces úpravy, tím dochází k většímu nasycení konopného pazdeří.

V případě pazdeří ošetřeného Bindzilem se u měření projevilo sloučení více kusů pazdeří, jež tvoří kompaktní celek, čili při stanovení sypné hmotnosti nedošlo k úplnému vyplnění nádoby. Oproti tomu pazdeří máčené hydroxidem sodným projevilo vyšší sypnou hmotnost z důvodu vyššího nasycení solemi do struktury pazdeří.

Výsledky (Tabulka 13: Sypná hmotnost vypraného pazdeří) ukazují sypnou hmotnost pazdeří, jež bylo po máčení vysušeno, vypráno ve vodě a znovu vysušeno. Lze zde vidět, že sypná hmotnost neupraveného pazdeří se takřka nemění. U pazdeří mineralizovaného Bindzilem a hydroxidem sodným dochází k vymývání chemikálie a tím dochází i ke změně objemové hmotnosti. Z pozorování usuzujeme, že sypná hmotnost mineralizovaného pazdeří se spolu s vypráním mírně snižuje.

## 8.3 Setřesená hmotnost

Stanovení sypané hmotnosti pazdeří proběhlo dle normy ČSN EN 1097-3 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 3: Stanovení sypané hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva [36].

### 8.3.1 Zkouška setřesené hmotnosti pazdeří

#### Zkušební postup

- vzorek se vysuší do ustálené hmotnosti
- zvážíme prázdnou nádobu o známém objemu  $V$  a zaznamenáme hodnotu jako  $m_1$
- nádobu naplníme pazdeřím tak, aby byla nádoba zcela plná; s nádobou silně 50 x udeříme o podložku a doplníme pazdeří tak, aby bylo pazdeří až po okraj nádoby; ručně zarovnáme
- plná nádoba se zváží a její hmotnost se zaznamená jako hodnota  $m_2$

Výpočet setřesené hmotnosti, pak proběhne dle:

$$\rho_s = \frac{m_2 - m_1}{V} [kg/m^3]. \quad (2)$$

Tabulka 14: Setřesená hmotnost vypraného pazdeří

Úprava pazdeří	$m_2$ [kg]	$m_1$ [kg]	$V$ [m <sup>3</sup> ]	$\rho_b$ [kg/m <sup>3</sup> ]
pazdeří neupravené	0,2112	0,1650	0,000500	92,40
pazdeří Bindzil 1 h	0,2356	0,1650	0,000340	207,65
pazdeří NaOH 1 h	0,2110	0,1650	0,000250	184,00

#### Závěr

Setřesená hmotnost byla spočítána jako aritmetický průměr tří měření. Pro reprezentativnější měření, by bylo vhodné mít k dispozici větší množství takto upraveného materiálu. Setřesená hmotnost byla zjišťována na vypraném pazdeří (upraveném i neupraveném) ve vodě, jež bylo poté znovu vysušeno. Dle předpokladu vychází setřesená hmotnost vyšší, než hmotnost sypaná. Sledujeme, že pazdeří ošetřené Bindzilem má nejvyšší setřesenou i sypanou hmotnost.



## 8.4 Nasákavost

Dle normy ČSN EN 1097-6 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti [38] proběhlo zjištění změny nasákavosti pazdeří, jež bylo neošetřeno a jež bylo upraveno máčením. To je důležité pro zajištění objemové stálosti pazdeří v cementové matrici.

### 8.4.1 Zkouška nasákavosti pazdeří

#### Zkušební postup

- zkušební navážka se zváží, vloží do nádoby s vodou a nechá se ponořená ve vodě po 24 h
- po uplynutí doby navážku vyjmem, povrchově osušíme, zvážíme a hodnotu zaznamenáme jako hmotnost  $m_1$
- zkušební navážka se vysuší v sušárně při teplotě  $t = 50\text{ °C}$
- navážka se po vysušení zváží a zaznamená jako hodnota  $m_2$

Výpočet nasákavosti pak proběhne dle:

$$w = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 [\%]. \quad (3)$$

Tabulka 15: Nasákavost pazdeří

Úprava pazdeří	$m_1$ [kg]	$m_2$ [kg]	w [%]
pazdeří neupravené	0,072	0,390	442
pazdeří demin. 1 h	0,100	0,532	432
pazdeří Bindzil 1 h	0,100	0,308	208
pazdeří NaOH 1 h	0,100	0,321	221

#### Závěr

Zkouška nasákavosti pazdeří ukázala jeho vysokou nasákavost. Ta způsobuje, že neupravené pazdeří odebírá velkou část vody nutnou k přeměně cementu v cementový kámen. Spolu s LTP látkami, pak tento fakt způsobuje, že hydratace cementu je nedostatečná a vzorky nedosahují vysokých pevností. Viz. Obrázek 8: Nezreagovaný cement po zkoušce 7 - denních pevností.

## 8.5 Stanovení zrnitosti – síťový rozbor

Síťový rozbor proběhl dle normy ČSN EN 993-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Síťový rozbor [37]. Cílem zkoušky bylo prokázat, zda úprava pazdeří ovlivňuje i jeho výslednou zrnitost. U zkoušky byl čas prosévání prodloužen na 5 min a i poté bylo potřeba zkoušku dosít ručně. Složení sít bylo následující: 32 mm; 16 mm; 8 mm; 4 mm; 2 mm; 1 mm; 0,5 mm; 0,25 mm; 0,125 mm; 0,163 mm.

### 8.5.1 Síťový rozbor

#### Zkušební postup

- pazdeří o známé hmotnosti nasypeme na síta, jež jsou sestavena do sloupce; síta jsou sestavena od nejmenších otvorů po největší
- horní síto uzavřeme víkem a zapneme síta
- jednotlivá síta po skončení síťovacího procesu odebíráme a ručně dokončíme prosévání
- zvážíme zůstatky na jednotlivých sítích
- výsledky vyjádříme do grafu znázorňujícího křivku zrnitosti

#### Závěr

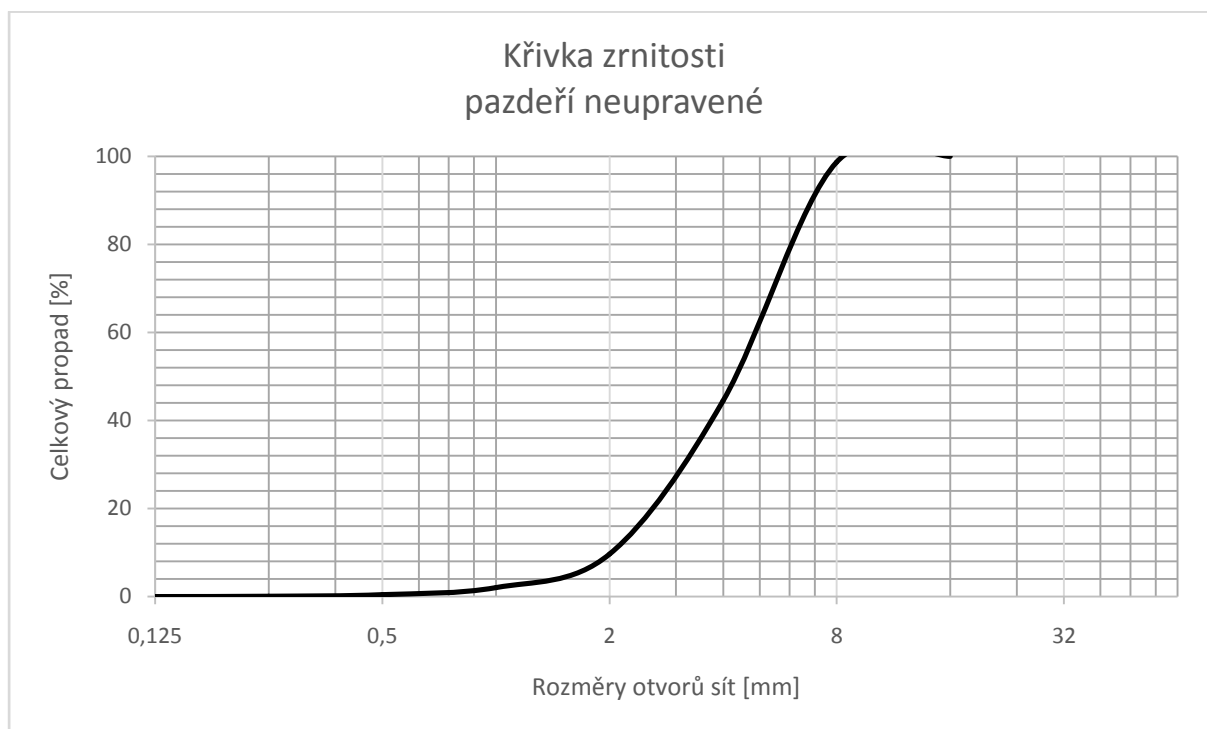
Síťovým rozbohem jsme získali křivku zrnitosti, jež nám dávají obraz o jednotlivém zastoupení frakcí pazdeří. Vzhledem k povaze pazdeří byla tato zkouška náročná. Pazdeří, se pouze přesouvalo po sítě, a tedy bylo nutné pazdeří dosít ručně. Geometrické vlastnosti pazdeří neboli převládání délkového rozměru nad zbylými rozměry způsobilo nedokonalé prosévání. Taktéž drobné zbytky vláken zabraňovaly propadu pazdeří.

V následujícím Graf 4: Křivka zrnitosti, pazdeří neupravené se nachází křivka zrnitosti neošetřeného pazdeří a dále Tabulka 16 obsahuje naměřené hodnoty. Pazdeří, jež bylo ošetřeno demineralizovanou vodou, nevykazovalo oproti této křivce významnou změnu.



Tabulka 16: Hodnoty, síťový rozbor pazdeří neupravené

Normové síto [mm]	32	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	<b>podsítné</b>
Hmotnost frakce na síti [g]	0	0,8	32,8	21	4,6	1	0,2	0,05	0	0	0
Celkem navážka [g]	60										

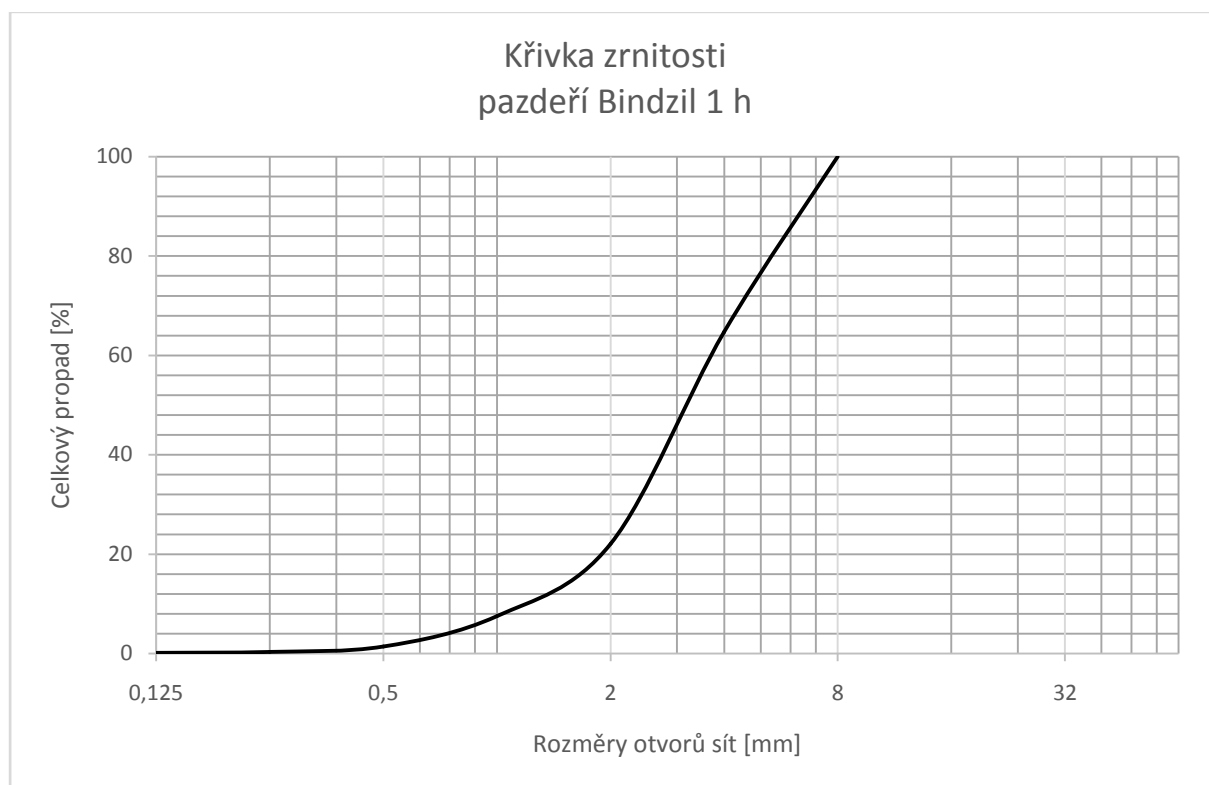


Graf 4: Křivka zrnitosti, pazdeří neupravené

Síťový rozbor byl taktéž proveden u pazdeří mineralizovaného Bindzilem a hydroxidem sodným. Zkouška byla provedena jak u pazdeří mineralizovaného 1 h, tak 24 h. Jednotlivé výsledky se liší stupněm nasycení pazdeří a tyto rozdíly nejsou veliké. Z tohoto důvodu přiložené hodnoty síťového rozboru, ukazují pouze hmotnostní rozložení a křivku zrnitosti pro pazdeří mineralizované Bindzilem a hydroxidem sodným po dobu trvání ošetření 1 h.

Tabulka 17: Hodnoty, síťový rozbor pazdeří Bindzil 1 h

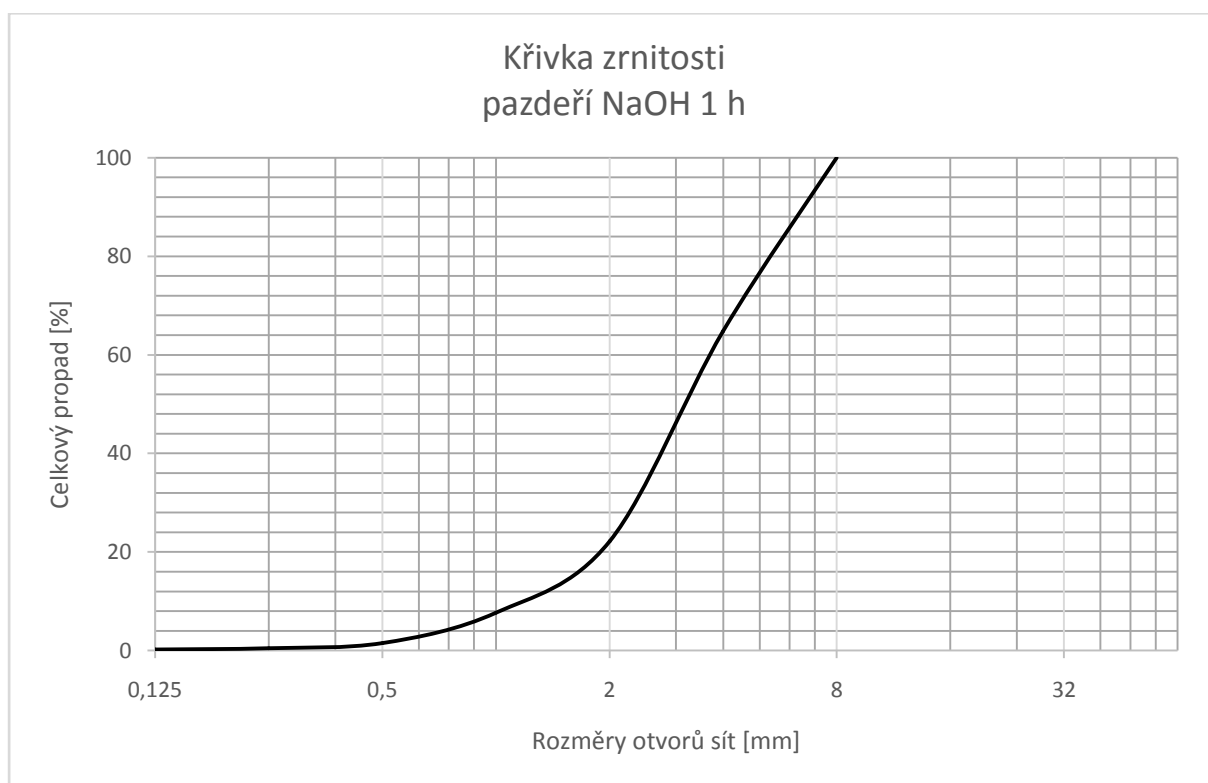
Normové síto [mm]	32	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	<b>podsítné</b>
Hmotnost frakce na síti [g]	0	0	53	64	21,8	9,2	1,6	0,3	0,2	0	0
celkem navážka [g]	150										



Graf 5: Křivka zrnitosti, pazdeří Bindzil 1 h

Tabulka 18: Hodnoty, síťový rozbor pazdeří NaOH 1 h

Normové síto [mm]	32	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	<b>podsítné</b>
Hmotnost frakce na síti [g]	0	0	53	64	21,8	9,2	1,6	0,4	0,3	0	0
celkem navážka [g]	150										



*Graf 6: Křivka zrnitost, pazdeří NaOH 1 h*

## 8.6 Vliv LTP látek z pazdeří na cementovou matrici

Vzhledem ke specifické povaze konopného pazdeří byly provedeny zkoušky, které zkoumaly ovlivnění počátku dob tuhnutí a pevnost cementu při použití záměsové vody z výluhů pazdeří. Postupy byly provedeny dle normy ČSN EN 196-3+A1 Metody zkoušení cementu – Část 3: Stanovení dob tuhnutí a objemové stálosti a dle ČSN EN 196-1 Metody zkoušení cement – Část 1: Stanovení pevnosti.

Jako první bylo třeba vyluhovat pazdeří (neupravené i ošetřené). Pro vytvoření výluhů bylo vybráno pazdeří neupravené a pazdeří upravené demineralizovanou vodou, Bindzilem a hydroxidem sodným po dobu 1 h. Vysušený vzorek byl v poměru 1:10 ponořen po dobu 24 h v demineralizované vodě. Po uplynutí této doby, byl výluh přefiltrován. Následně bylo přistoupeno ke zkoušce zjištění normální konzistence. Pro tuto zkoušku byla použita voda z vodovodního řadu. Poté byly určeny doby počátku tuhnutí a vyrobeny trávce o velikosti 40 x 40 x 160 mm pro stanovení pevnosti cementu. Celkem bylo vyrobeno 5 forem trávce. Jedna forma referenční, se záměsovou vodou z vodovodního řadu a poté 4 formy z výluhů z pazdeří.



*Obrázek 21: Výluhy z pazdeří  
zleva: výluh neupravené pazdeří, NaOH, Bindzil, demineralizovaná voda*

### 8.6.1 Stanovení normální konzistence

Penetrační váleček se nastaví tak, aby lícoval s povrchem cementové kaše. V této poloze zůstane 1 – 2 s, poté se rychle uvolní a nechá se vnikat svisle do středu cementové kaše. Uvolnění válečku musí být provedeno  $4 \text{ min} \pm 10 \text{ s}$  po zaznamenání nulového času. Odečet na stupnici se provede nejdříve 5 s po ustálení penetračního válečku nebo 30 s po jeho uvolnění dle toho, co nastane dříve. Zkouška se opakuje tak dlouho, než je dosaženo vzdálenosti mezi spodní plochou penetračního válečku a skleněnou destičkou  $6 \pm 2 \text{ mm}$ . Obsah vody nutný pro normální konzistenci uvedeme jako poměr vody k množství cementu, s přesností na 0,5 %. Vypočtenou hodnotu nazýváme vodní součinitel.

### Zkušební postup

- Vicatův přístroj s připojeným penetračním válečkem se nastaví do nulové polohy
- navážíme 500 g cementu s přesností  $\pm 1 \text{ g}$  a např. 130 g vody
- každá dávka kaše se míchá mechanicky za použití míchačky
- vneseme vodu a cement do míchačky; naplnění musí být provedeno do 10 s
- míchačka se uvede do provozu po dobu 90 s; po 90 s se zastaví na 15 s a během ní se seškrábne do středu nádoby cementová kaše, jež ulpí na stěnách nádoby;

míchačka se uvede do provozu na dalších 90 s; celková doba míchání musí být 3 min

- kaše se ihned bez nadměrného hutnění naplní do lehce olejem potřeného Vicatova prstence umístěného na lehce naolejované skleněné destičce a umístí se pod penetrační váleček tak, aby povrch cementové kaše lícovál se spodní hranou penetračního válečku
- spustíme penetrační váleček do středu cementové kaše a odečteme hodnotu

## **Závěr**

Zkouška normální konzistence se opakovala několikrát s hodnotami uvedenými v Tabulka 19: Zjištění normální konzistence. Normální konzistence byla zjištěna při vodním součiniteli  $w = 0,3$  čili při obsahu vody 128 g.

*Tabulka 19: Zjištění normální konzistence*

Číslo měření	Cement [g]	Voda [g]	Odečtená hodnota [mm]
1.	500	135	0
2.	500	132	1
3.	500	130	3
4.	500	125	10
5.	500	128	7

### **8.6.2 Stanovení dob počátku tuhnutí**

Tato zkouška byla provedena, za účelem zjištění posunutí dob počátku tuhnutí vlivem kombinace LTP látek, jež obsahuje pazdeří a dané mineralizační chemikálie. Pro záměsovou vodu byly použity výluhy z pazdeří a pro referenční dobu tuhnutí byla použita voda z vodovodního řadu.

Penetrační váleček nahradíme jehlou válcovitého tvaru z oceli a před zkouškou nastavíme do nulové polohy. Odečet na stupnici dle postupu provedeme po ustálení polohy jehly nebo 30 s po uvolnění jehly, dle toho co nastane dříve. Dobu, kdy vzdálenost jehly od skleněné destičky je  $6 \pm 3$  mm označíme jako počátek tuhnutí cementu s přesností 5 min.

Při míchání cementové kaše normální konzistence musí být zaznamenán nulový čas, od kterého se měří doba počátku tuhnutí.

## Zkušební postup

- Vicatův prstenec naplníme kaší normální konzistence umíchanou dle kap. 8.6.1 a jeho povrch zarovnáme
- po vhodné době prstenec se skleněnou destičkou umístíme pod jehlu Vicatova přístroje; jehla se nastaví tak, aby lícovala s povrchem cementové kaše, v této poloze zůstane 1 – 2 s a poté se pohyblivá část rychle uvolní a jehla se nechá vnikat do cementové kaše; provedeme odečet na stupnici
- vpichy jehly se opakují v prstenci v různých místech, ve vhodných časových intervalech (např. po 10 min), nejméně však 8 mm od okraje prstence a 5 mm od sebe a nejméně 10 mm od předchozího vpichu
- po každém vpichu se jehla ihned očistí

## Závěr

Ovlivnění počátku doby tuhnutí bylo zkoušeno na výluzích pazdeří, jež bylo upraveno demineralizovanou vodou (vzorek č. 1), Bindzilem (vzorek č. 2), 10% roztokem NaOH (vzorek č. 3), na neošetřeném pazdeří (vzorek č. 4) a na cementu, jež byl smíchán s vodou z vodovodního řadu (vzorek č. 0 – referenční vzorek). Počátky doby tuhnutí byly zjištěny po následujících časech uvedených v Tabulka 20: Počátky dob tuhnutí.

*Tabulka 20: Počátky dob tuhnutí*

Číslo vzorku	Druh použitého výluhu	Počátek doby tuhnutí [min]
0.	referenční	130
1.	demineralizovaná voda	160
2.	Bindzil	145
3.	roztok NaOH	60
4.	neupravené pazdeří	170

Z předchozí tabulky můžeme posuzovat, jak kvalita záměsové vody ovlivní počátek doby tuhnutí. Vzorek č. 0 se záměsovou vodou z vodovodního řadu, dosáhl počátku doby tuhnutí po 130 min. Počátek doby tuhnutí po 60 min, byl zaznamenán u vzorku, u něžž byla použita jako záměsová voda výluh z pazdeří ošetřeného hydroxidem sodným. Všechny ostatní vzorky dosáhly počátku doby tuhnutí později než vzorek referenční. Z uvedených výsledků tedy můžeme jednoznačně předpokládat, že hydroxid sodný urychluje počátek doby tuhnutí, ovšem prodloužení doby počátku tuhnutí u vzorku č. 1, vzorku č. 2. a vzorku č. 4 není jednoznačně prokazatelné. Z tohoto důvodu by bylo vhodné měření opakovat.

Na získaných výluzích z pazdeří bylo taktéž zjištěno pH což je číslo, které nám určuje, zda vodný roztok reaguje kysele nebo zásaditě (alkalicky). Rozsah stupnice pro měření je od 0 – 14. Hodnota vody  $\text{pH} = 7$ . Následující tabulka udává zjištěné pH výluhů.

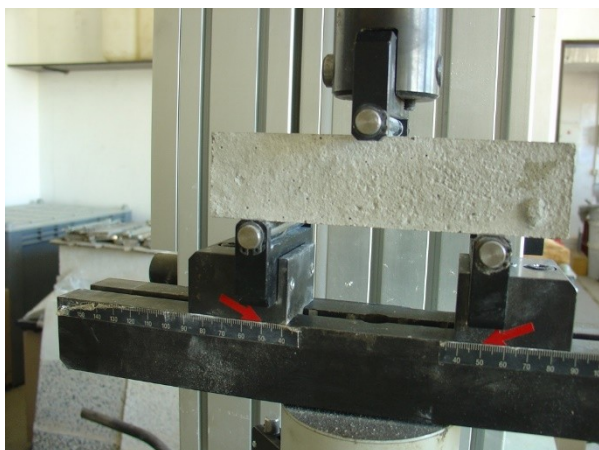
*Tabulka 21: pH výluhů*

<b>Výluh z pazdeří na bázi</b>	<b>pH</b>
NaOH	> 12
Bindzil	7
Demineralizované vody	6 – 7
Neupravené pazdeří	6 – 7

Hodnota pH výluhu z pazdeří min. hydroxidem sodným nám ukazuje, z jakého důvodu počátek doby tuhnutí směsi č. 3 nastal za 60 min. Hydroxid sodný, se chová jako silná zásada a tím urychluje počátek tuhnutí cementu. Taktéž díky použitému hydroxidu sodnému, se probíhající hydratace cementu nepodobala klasické reakci cementu s vodou, ale více reakcím typickým u alkalicky aktivovaných systémů.

### 8.6.3 Zkoušení cementových trámečků

V rámci práce byla provedena zkouška stanovení pevnosti cementu pro zjištění, jak ovlivňují LTP látky nástup pevností cementu. Postup byl proveden dle normy ČSN EN 196-1 [27]. Pro záměsovou vodu pro referenční vzorek byla použita voda z vodovodního řádu, pro ostatní směsi byly použity výluhy z pazdeří. Celkem bylo vyrobeno 5 forem trámců (každá o 3 zkušebních tělesech) o rozměrech 40 x 40 x 160 mm. Byly stanoveny pevnosti 7 denní pevnosti v třibodovém ohybu a tlaku.



*Obrázek 22: Zkouška pevnosti v ohybu*



*Obrázek 23: Zkouška v tlaku*

### Zkušební postup

- pro každou záměs odvážíme  $450 \pm 2$  g cementu,  $1350 \pm 5$  g normového písku plynulé granulometrie a  $225 \pm 1$  g vody
- do nádoby vneseme vodu a cement; spustíme míchání
- po 30 s míchání se plynule v následujících 30 s přidá písek; poté se míchání přepne na vysokou rychlost a v míchání se pokračuje dalších 30 s
- míchání se zastaví na 90 s, kdy během prvních 30 s se setře malta, která ulpí na stěnách nádoby
- v míchání se pokračuje dalších 60 s vysokou rychlostí

### Zhotovení zkušebních těles

- zvážíme prázdnou formu
- zkušební tělesa se připraví ihned po přípravě malty vhodnou lžící přímo z nádoby do olejem natřené formy
- forma se hutní na magnetickém vibračním stole po dobu 120 s



- forma se doplní a znovu vibruje na vibračním stole
- zvážíme plnou formu pro zjištění objemové hmotnosti čerstvé směsi
- na formu se položí skleněná destička o rozměru 210 x 185 x 6 mm a forma se uloží do vlhkostní komory

### Postup zkoušení pevnost v tahu za ohybu

Změříme rozměry zkoušeného trámečku kolmo na směr plnění a umístíme jej do zkušebního stroje tak, aby jeho podélná osa byla k válcovým podporám kolmá. Zatížení probíhá přes zatěžovací válec kolmo na protilehlou boční stranu trámečku a zvyšuje se rovnoměrnou rychlostí  $50 \pm 10$  N/s až do zlomení. Poloviny trámečků uchováme pro zkoušku pevnosti v tlaku. Pevnost v tahu za ohybu  $R_f$  se pak vypočítá dle vztahu:

$$R_f = \frac{1,5 \times F_t \times l}{b^3} [MPa], \quad (4)$$

kde:

- $R_f$  je pevnost v tahu za ohybu [MPa]  
 $b$  strana čtvercového průřezu trámečku [mm]  
 $F_t$  zatížení vynaložené na střed trámečku při zlomení [N]  
 $l$  vzdálenost mezi podporami [mm].

### Postup zkoušení pevnosti v tlaku

Zkoušku provedeme na polovinách trámečků zlomených ze zkoušky tahu za ohybu. Jednotlivé poloviny se vkládají do zkušebního přístroje a zatížení se zvyšuje plynule rychlostí  $2400 \pm 200$  N/s do porušení. Pevnost v tlaku se pak vypočítá dle vztahu:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} [MPa], \quad (5)$$

kde:

- $R_c$  je pevnost v tlaku [MPa]  
 $F_c$  nejvyšší zatížení vynaložené při porušení [N]  
 1600 plocha destiček [mm<sup>2</sup>].

## Stanovení objemové hmotnosti

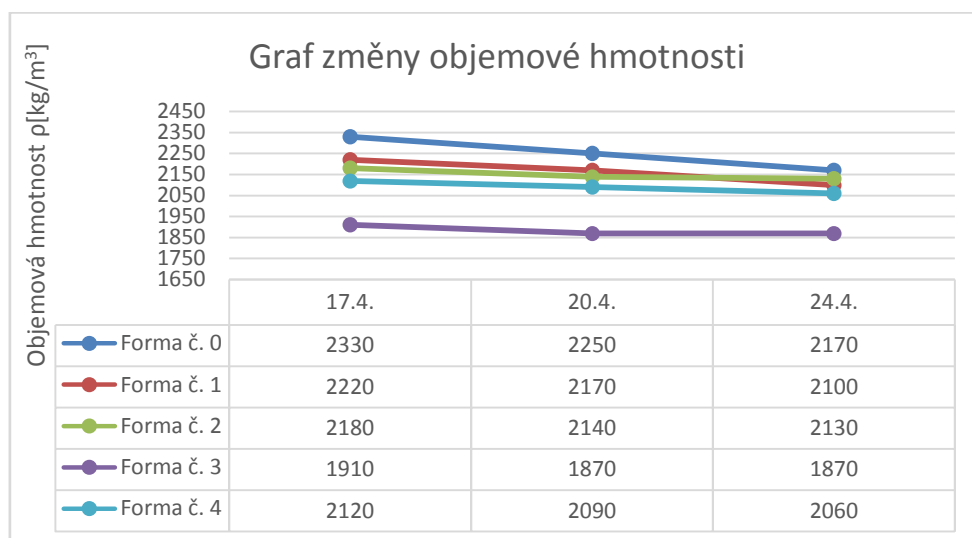
Objemová hmotnost je definována jako poměr hmotnosti k jeho objemu. Zjištěná objemová hmotnost se zokrouhlí na nejbližších  $10 \text{ kg/m}^3$ . Stanovení objemové hmotnosti dle:

$$\rho = \frac{m}{V} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (6)$$

## Závěr

Po odformování, byla tělesa uložena v laboratorním prostředí, až do doby zkoušení pevností. Tělesa byla dvakrát odvažována pro zjištění změny objemové hmotnosti trámčů. Pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti tlaku byly vyjádřeny průměrnou aritmetickou hodnotou ze tří jednotlivých výsledků sady tří trámčků s přesností na 0,1 MPa.

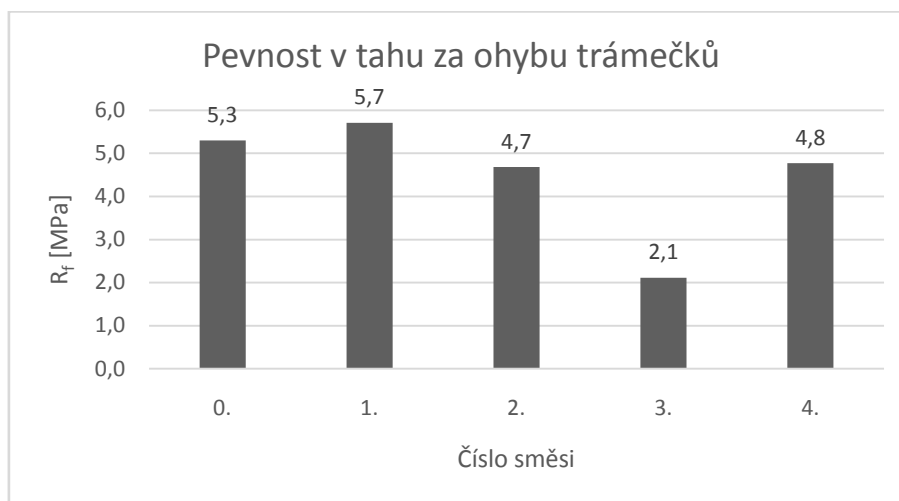
Následující Graf 7: Změna objemové hmotnosti trámčků vypovídá o změně objemové hmotnosti od výroby čerstvé směsi až po objemovou hmotnost v den zkoušení pevnosti tahu za ohybu a pevnosti v tlaku. Forma č. 0 značí referenční směs s vodou, forma č. 1 směs s výluhem z pazdeří upraveným demineralizovanou vodou, forma č. 2 směs s výluhem z pazdeří mineralizovaným Bindzilem, forma č. 3 směs s výluhem z pazdeří ošetřeným hydroxidem sodným a forma č. 4 směs s výluhem neupraveného pazdeří.



*Graf 7: Změna objemové hmotnosti trámčků*

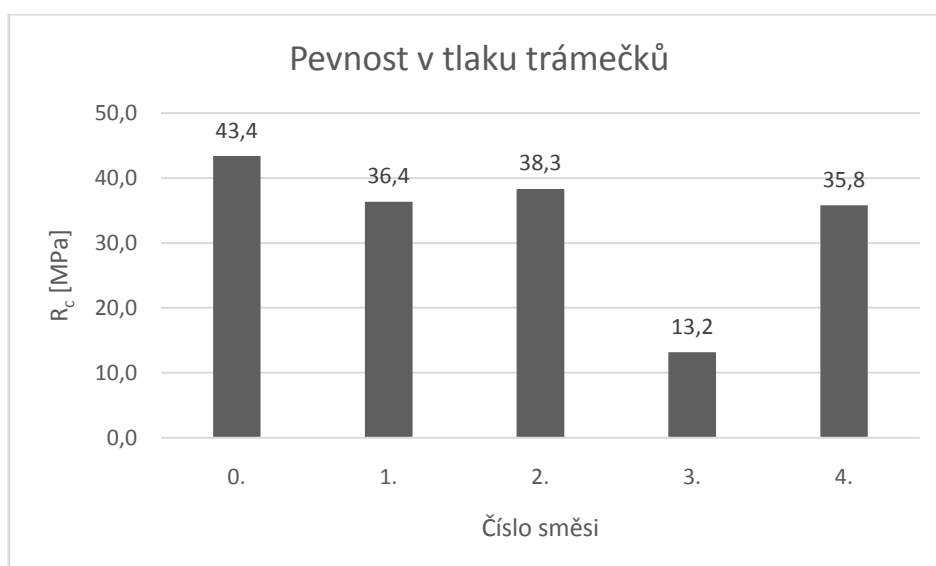
Graf 8: Pevnosti v tahu za ohybu trámčků má stejné číslování forem, jak je uvedeno v předchozím odstavci. Z uvedených hodnot pozorujeme, že nejvyšší pevnosti v tahu za ohybu  $R_f = 5,7 \text{ MPa}$  dosáhla směs z formy č. 2 se záměsovou vodou z výluhu z pazdeří upraveným demineralizovanou vodou. Referenční směs s vodou dosáhla pevnosti

$R_f = 5,3$  MPa. Nejnižší pevnosti  $R_c = 2,1$  MPa dosáhla směs z formy č. 4 obsahující výluh z pazdeří upraveným hydroxidem sodným.



*Graf 8: Pevnosti v tahu za ohybu trámečků*

Trámečky zlomené na polovinu byly použity pro zkoušku v tlaku. Následující Graf 9: Pevnosti v tlaku trámečků předkládá zjištěné pevnosti. Nejvyšší pevnosti dosáhla referenční směs č. 0 s vodou  $R_c = 43,4$  MPa. Směsi 1., 2., a 3. dosáhli přibližně stejných pevností pohybujících se v rozmezí  $R_c = 35,8 - 38,3$  MPa. Nejnižší pevnosti,  $R_c = 13,2$  MPa dosáhla směs č. 3, jež obsahovala výluh z pazdeří ošetřeným hydroxidem sodným.



*Graf 9: Pevnosti v tlaku trámečků*

## 8.7 Příprava receptury

Pro přípravu vzorků, na kterých byly zkoušeny účinky povrchových úprav pazdeří, bylo třeba vybrat recepturu. Při návrhu receptury se vycházelo z přibližného rozložení složek v kompozitu v poměru 31 % vody, 29 % cement a 40 % pazdeří [8]. Z tohoto poměru, objemových hmotností a této rovnice [7] :

$$Water = 0,35 \times C + (0,30 - MC) \times W, \quad (7), [7]$$

kde:

- C – Cement [kg]
- MC – pazdeří obsahující vlhkost [kg]
- W – v sušárně vysušené pazdeří [kg],

byla vypočítána receptura, ze které byly umíchány první vzorky z pazdeří, jež nebylo mineralizováno a neobsahovalo písek. Po prvním míchání proběhlo zjištění, že pro úsporu pazdeří a úpravu zrnitosti, přidáme do kompozitu normový písek s plynulou křivkou granulometrie. Vzniklá receptura byla vyzkoušena a dle potřeby bylo upraveno množství vody.

*Tabulka 22: Zkušební receptury*

Trojforma	Cement [kg]	Konopí [kg]	Voda [kg]	Písek [kg]
1	2,921	0,350	1,357	-
2	2,921	0,279	1,106	1,25
3	2,921	0,279	1,306	1,25

Jako referenční receptura byla vybrána receptura použitá pro trojformu č. 3. Při dalších mícháních se ovšem projevila rozdílná objemová hmotnost pazdeří mineralizovaného a pazdeří, jež žádnou úpravu nemělo. Vzhledem k tomuto zjištění jsem přistoupila ke zkoušce sypné hmotnosti mineralizovaného a neupraveného pazdeří a k sítové zkoušce. Výsledky těchto zkoušek se nachází v kap. 6.7 a 6.9. Z důvodu, že zkouška sypné hmotnosti proběhla až po umíchání vzorků, upravila se receptura pouze procentuálním přidáním jednotlivých složek a ne dle nového výpočtu ze zjištěné sypné hmotnosti. Co se měnilo při dané receptuře, bylo množství vody. Cement, pazdeří a písek zůstávali stále ve stejné hmotnosti, ovšem množství vody bylo pohyblivé dle použité úpravy pazdeří. Díky rozdílné objemové hmotnosti pazdeří mineralizovaného Bindzilem a 10% roztokem NaOH se ukázala potřeba nižšího množství vody než v první referenční receptuře. U pazdeří ošetřeného demineralizovanou

vodou se vykázkalo, že objemová hmotnost je takřka stejná jako u neupraveného pazdeří a nutné množství vody zůstává stejné.

### 8.7.1 Výroba vzorků

Dle receptury č. 3 bylo vyrobeno celkem 6 forem, kde každá z nich obsahovala 3 tělesa o rozměru  $a = 100 \text{ mm}$  pro určení 28 denních, 7 denních, 2 denních a 1 denních pevností. Pro ochranu forem se ukázalo, že je třeba je chránit obalením do tenké PE fólie. Bez obalení formy se i přes její ošetření separačním prostředkem směs pevně přidrží k jejím bokům. Jednotlivé směsi byly umíchány elektrickým ručním míchadlem.



*Obrázek 24: Odformování těles*



*Obrázek 25: Vzorek po ochraně formy PE fólií*

### Postup míchání směsi

- odvážíme jednotlivé přísady dle receptury
- do nádoby přidáme pazdeří, část vody a promícháme míchadlem, abychom dosáhli nasáknutí pazdeří vodou
- přidáme cement, písek a znovu promícháme
- přidáme dané množství vody a mícháme do té doby než je směs řádně promísena; dáváme pozor na ulpívání cementu na stěnách a dně nádoby, v případě potřeby ulpívající cement seškrábneme lopatkou
- vzniklou směsí naplníme připravenou formu; směs při plnění dusáme dřevěnou tyčí a nakonec zavibrujeme na vibračním stolci a zarovnáme povrch směsi

## Měřené vlastnosti

- objemová hmotnost čerstvé směsi
- objemová hmotnost ztvrdlého betonu
- pevnosti v tlaku po 1, 2, 7 a 28 dnech

Pevnost v tlaku je vypočítána jako aritmetický průměr pevností v tlaku s přesností na 0,1 MPa. Jednotlivé pevnosti v tlaku jsou zaznamenány s přesností 0,1 MPa.

## Označení vzorků

- C1 vzorky s pazdeřím bez úpravy  
S1 vzorky s pazdeřím mineralizovaným Bindzilem po dobu 1 h  
S2 vzorky s pazdeřím mineralizovaným Bindzilem po dobu 24 h  
D1 vzorky s pazdeřím upraveným demineralizovanou vodou po dobu 1 h  
D2 vzorky s pazdeřím upraveným demineralizovanou vodou po dobu 24 h  
N1 vzorky s pazdeřím upraveným 10% roztokem NaOH  
N2 vzorky s pazdeřím upraveným 10% roztokem NaOH

### 8.7.2 Objemová hmotnost čerstvé směsi

Při stanovení objemové hmotnosti čerstvé směsi zvážíme nejdříve prázdnou formu o známých rozměrech a poté formu naplněnou a zhutněnou. Byly váženy s přesností na 0,01 kg. Jednotlivé objemové hmotnosti byly zaznamenány s přesností 10 kg/m<sup>3</sup>. Přesný vztah byl definován v kap. 6.10.3

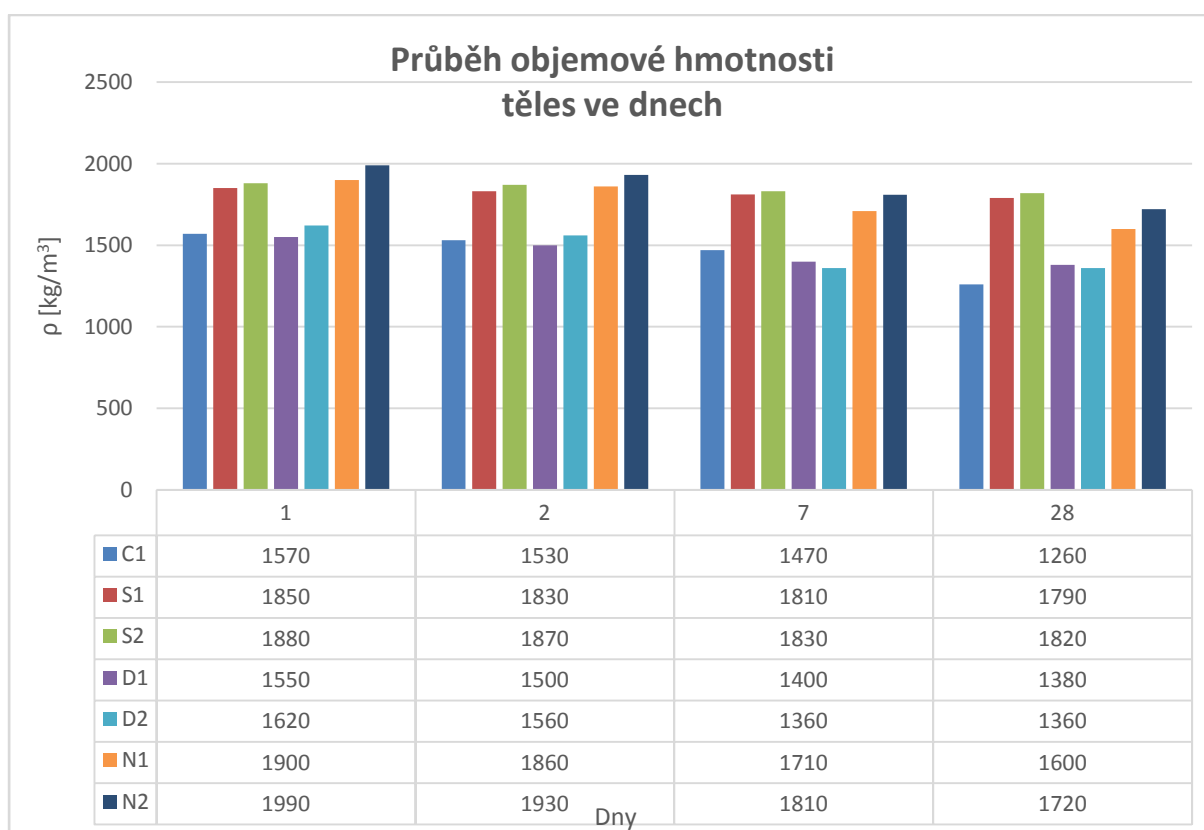
*Tabulka 23: Objemová hmotnost čerstvé směsi*

Označení vzorků	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
C1	1630
S1	1890
S2	1950
D1	1600
D2	1650
N1	1950
N2	2010

### 8.7.3 Objemová hmotnost ztvrdlého betonu

Ovlivnění těles upraveným pazdeřím můžeme sledovat na objemové hmotnosti ztvrdlých těles. Objemové hmotnosti byly vždy měřeny a počítány ve dnech zkoušení pevnosti v tlaku.

Měření rozměrů pro objemovou hmotnost ztvrdlého betonu bylo uskutečněno digitálním posuvným měřidlem s přesností na 0,01 mm. Rozměry jednotlivých těles jsou vypočítány jako aritmetický průměr tří měření. Jednotlivé objemové hmotnosti byly zaznamenány s přesností 10 kg/m<sup>3</sup>.



*Graf 10: Průběh objemové hmotnosti těles*

#### 8.7.4 Pevnost v tlaku

Zkouška pevnosti v tlaku vyrobených těles se konala po 1 dni, 2 dnech, 7 dnech a 28 dnech zrání v laboratorním prostředí. V den zkoušky pevnosti v tlaku byla tělesa změřena, zvážena a podstoupila zkoušku pevnosti v tlaku. Cílem, na který probíhalo měření, bylo zjištění ovlivnění pevností mineralizací pazdeří. S tím souvisí hydratace cementu. Při jeho nedostatečné hydrataci, kdy velkou část záměsové vody pojme pazdeří, nedojde k úplné hydrataci cementu a tím dochází ke snížení pevnosti.

Vzhledem k vlastnostem vyrobených vzorků byla rychlost zatěžování upravena na zatěžování silou 1000 N/s, abychom nedosáhli rychlého porušení. Vypočítané průměrné pevnosti zkušebních těles s přesností na 0,1 MPa se nacházejí v následující Tabulka 24: Průměrné pevnosti v tlaku.

*Tabulka 24: Průměrné pevnosti v tlaku*

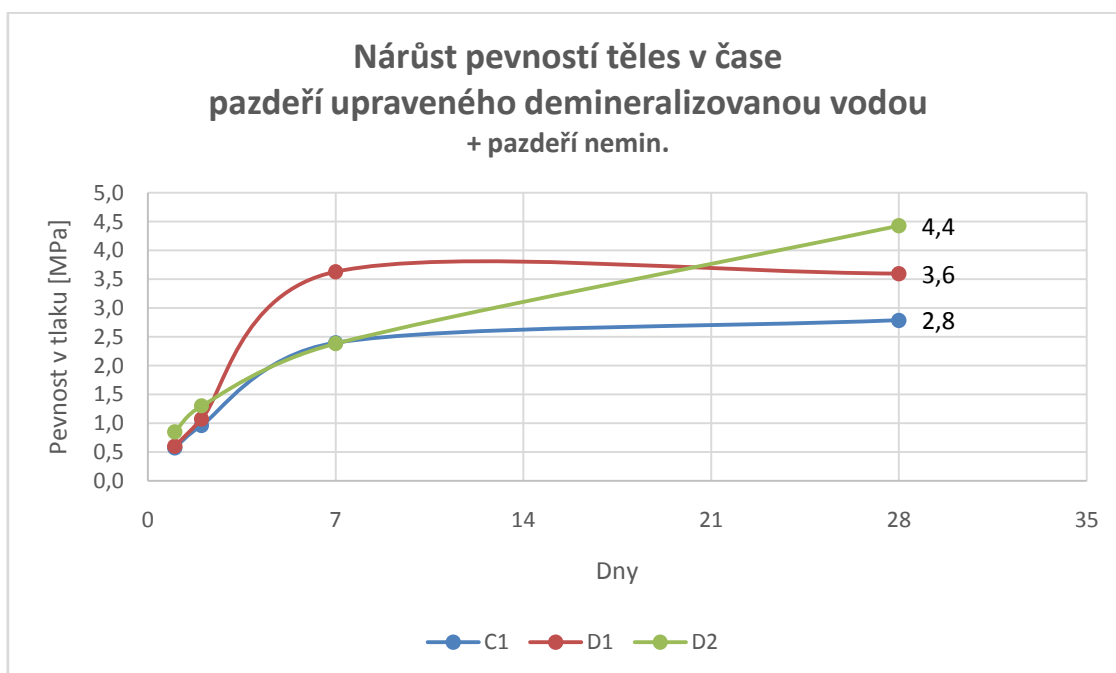
ozn. vzorku	1 denní pevnosti [MPa]	2 denní pevnosti [MPa]	7 denní pevnosti [MPa]	28 denní pevnosti [MPa]
C1	0,6	1,0	2,4	2,8
S1	8,6	13,2	15,2	19,1
S2	7,6	9,8	15,6	25,3
D1	0,6	1,1	3,6	3,6
D2	0,8	1,3	2,4	4,4
N1	0,2	1,3	0,7	0,6
N2	0,1	1,3	1,9	12,2

#### Závěr

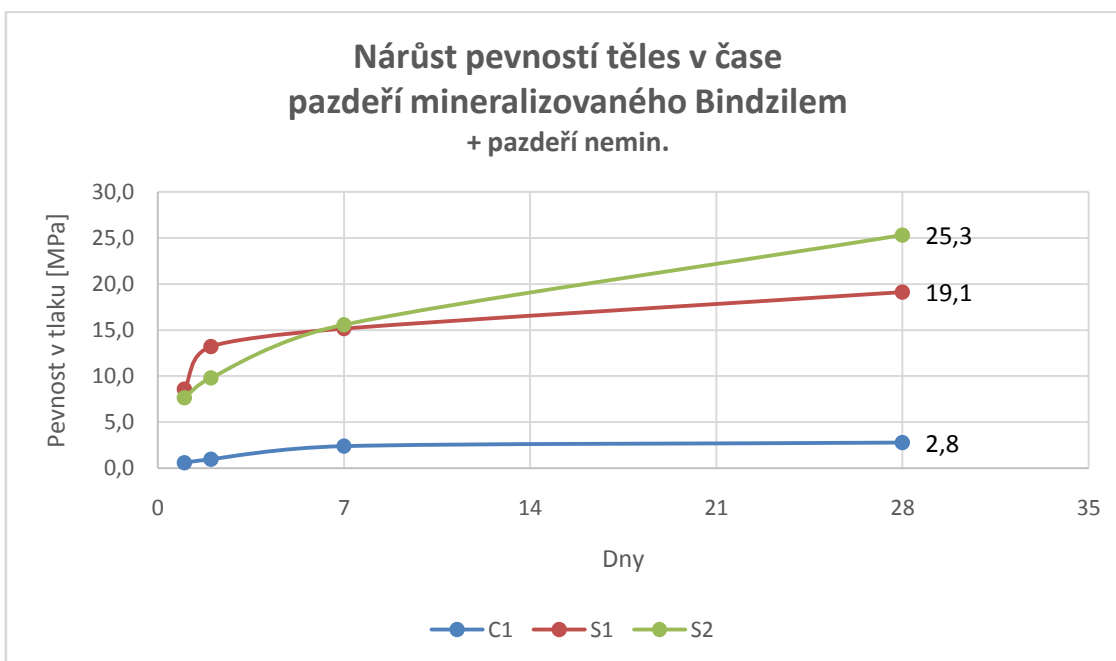
Zkouška pevnosti v tlaku ukázala, že tělesa, jež obsahovaly pazdeří mineralizované Bindzilem, dosáhly nejvyšších pevností. Taktéž prokázala, že délka máčení má vliv na konečné pevnosti. Čili čím delší doba luhovalání či mineralizace, tím dochází k menšímu uvolňování LTP látek. U pazdeří ošetřeného Bindzilem byla pozorována dobrá hydratace cementu, a tedy se dá předpokládat, že Bindzil nejlépe zabraňuje nasáknutí záměsové vody pazdeřím a tím nebrání procesu hydratace cementu (nasákavost  $w = 208 \%$ ). Z jakého důvodu průměrné 28 denní pevnosti u vzorků N2 dosáhly hodnoty 12,2 MPa se nepodařilo identifikovat.



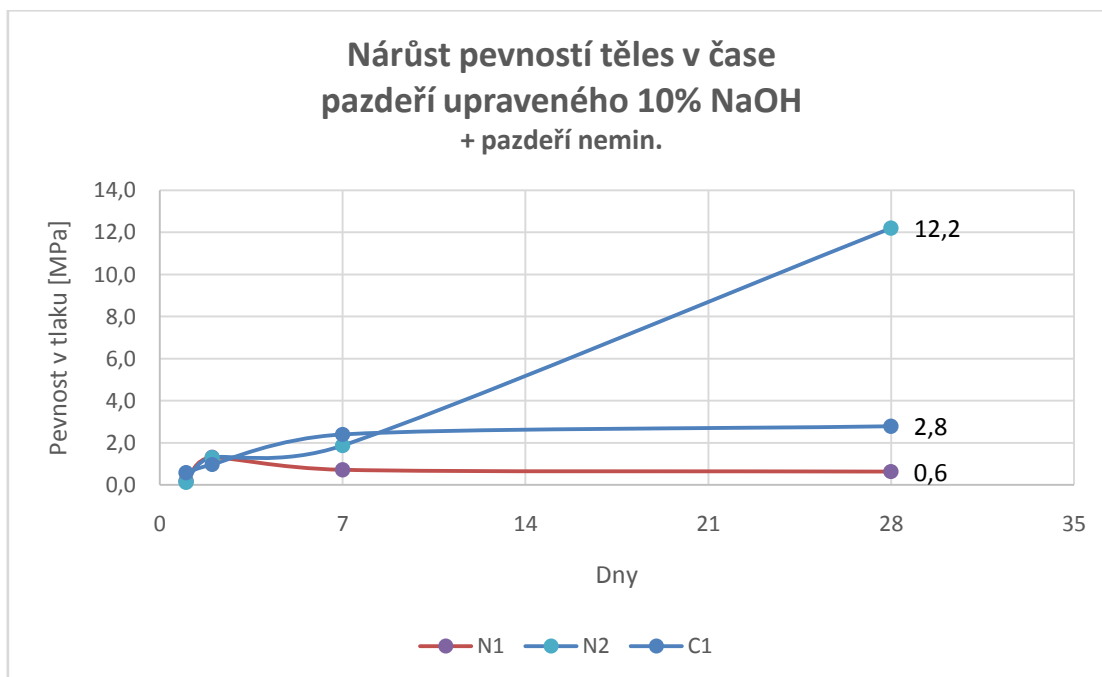
Následující grafy ukazují nárůst pevností jednotlivých vzorků v čase. V jednom grafu se vždy nachází pazdeří ošetřené po dobu 1 h, 24 h a pro srovnání průměrné hodnoty pevnosti vzorků C1.



*Graf 11: Nárůst pevností vzorků C1, D1, D2*



*Graf 12: Nárůst pevností vzorků C1, S1, S2*



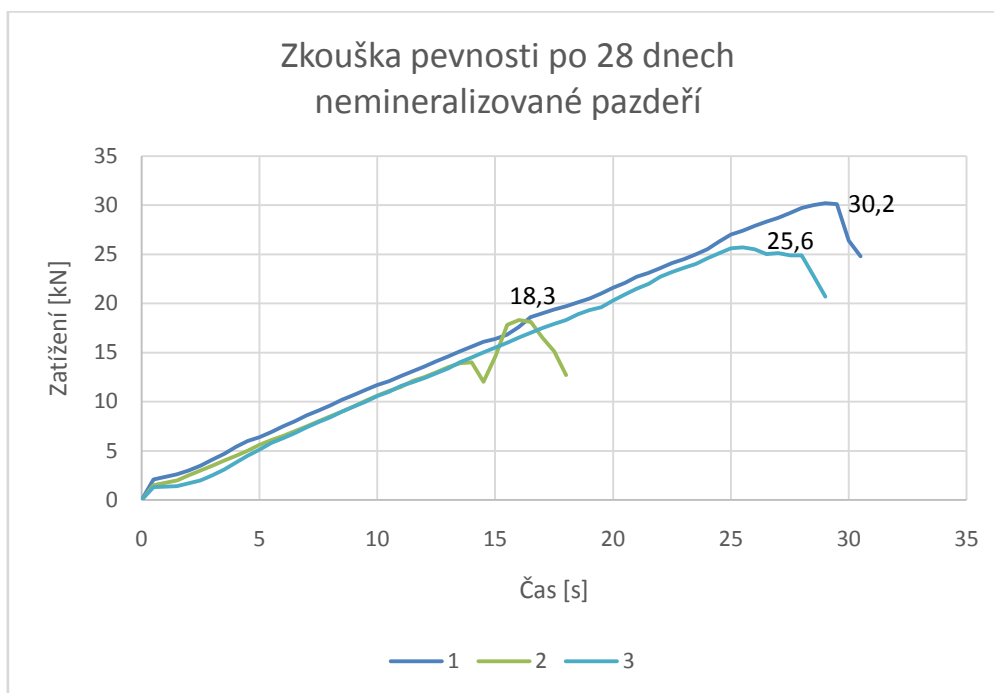
*Graf 13: Nárůst pevností vzorků C1, N1, N2*

Tělesa byla po ukončení zkoušky v tlaku vizuálně zhodnocena. Ta tělesa, jež dosáhla nejnižších pevností, měla uvnitř práškovitou cementovou hmotu místo tvrdé cementové matrice. Na základě tohoto poznatku usuzujeme, že úprava pazdeří demineralizovanou vodou a 10% roztokem NaOH zabraňuje pazdeří ovlivnění hydratace cementu jen částečně.



*Obrázek 26: Rozpadající se cementový kámen, pazdeří neupravené, po zkoušce 28 denních pevností*

Následující graf zobrazuje nárůst zatěžovací síly do porušení u zkoušky pevnosti v tlaku po 28 dnech pro směs obsahující neošetřené pazdeří.



*Graf 14: Nárůst zatěžovací síly, zkouška pevnosti v tlaku*

Nejvyšší hodnoty vykazovaly vzorky S1 a S2, zde vznikl tvrdý cementový kámen, jež spojoval pevně všechny kusy pazdeří. Bylo by zajímavé sledovat, jakých pevností bychom dosáhli při vyšší gramáži tohoto pazdeří ve vzorku.



*Obrázek 27: Tvrdý cementový kámen, pazdeří Bindzil, po zkoušce 7 denních pevností*

Reakce pazdeří, upraveného 10% roztokem NaOH s cementem byla taktéž zajímavá. Na čerstvě odformovaných tělesech se do následujícího dne objevily výkvěty způsobené vysokým obsahem  $\text{Na}^+$  iontů, jež se nacházely na tělese ze všech stran. Z jakého důvodu a jaké následující reakce probíhaly v cementové matici, není známo, ovšem výsledné pevnosti takto ošetřeného pazdeří byly velmi nízké. Výjimkou je pevnost vzorků N2. Není identifikováno, z jakého důvodu tyto vzorky dosáhly průměrné pevnosti po 28 dnech hodnoty  $R_c = 12,2 \text{ MPa}$ .



*Obrázek 28: Výkvěty způsobené vysokým obsahem  $\text{Na}^+$  iontů*



*Obrázek 29: 7 denní pevnost v tlaku, vzorek N2*

## 8.8 Tažné vlastnosti vlákna

V rámci zkoušení mechanických vlastností vláken byly změřeny tažné vlastnosti konopného vlákna. Konopné vlákno je známo svou vysokou odolností proti povětrnostním podmínkám, a tak cílem tohoto zkoušení bylo zjištění, jak daná úprava konopných (a případně lněných) vláken ovlivní jeho tažné vlastnosti. Poznatky z těchto výsledků by se při pokračujícím výzkumu daly použít při zkoumání nutnosti čistoty pazdeří, jež se přidává jako plnivo do betonu. Tímto způsobem by se pravděpodobně dalo dosáhnout vyšších pevností a již zmíněné nutnosti čištění pazdeří. Tímto tématem se zabývala, Lund Institute of Technology, Švédsko. Zajímali se, o mechanické vlastnosti vápno – konopných betonů obsahujících jak pazdeří, tak vlákno. Výzkum prokázal, že přidáním pazdeří spolu s vlákny se sice prokazatelně nedosáhne vyšších pevností (při nemineralizovaném materiálu), ovšem zároveň se pevnost ani nesníží [8]. Tyto poznatky jsou obrovskou možností pro země, kde průmyslové vybavení pro oddělení pazdeří od vlákna není běžně dostupné. Zároveň by se tímto dalo dosáhnout nižší ceny organického plniva za splnění stejných mechanických vlastností. Toto zjištění je důležité i v naší zemi, kde současná situace v podstatě neumožňuje zpracování konopí a využití pazdeří, jako zbytkového materiálu.

Pro tuto práci bylo jako organické plnivo použito pazdeří, které nebylo zcela vyčištěné, a nacházely se zde jemné zbytky vláken. Tyto zbytky se nedají považovat jako možnost použití pazdeří s vláknem. Do budoucna by ovšem bylo vhodné vyzkoušet vlastnosti mineralizovaného vlákna a pazdeří, jež je společně zakomponováno do cementové matrice. V práci [8] zkoumali pouze mechanické vlastnosti pazdeří s vlákny, jež nebylo nijak ošetřeno. Pevnost v tlaku zjištěná v této práci ukazuje, že nejlepších pevnostních charakteristik bylo dosaženo u pazdeří ošetřeného Bindzilem. V rámci další práce by se dalo vyzkoušet, zda se mechanické vlastnosti nezvýší při použití pazdeří s vláknem, které by bylo ošetřeno Bindzilem.

Pro zkoumání tažných vlastností konopných vláken, bylo vybráno vlákno neošetřené a vlákno ošetřené demineralizovanou vodou, Bindzilem a 10% roztokem NaOH. Výsledky tažnosti vlákna byly mezi sebou porovnány, a tak se podařilo získat podrobný přehled o účincích máčení na konopné vlákno. Pro vyzkoušení, bylo ošetřeno i lněné vlákno, které se ovšem pro mineralizaci ukázalo jako nevhodné. Jakožto velmi jemné vlákno se z většiny slepilo dohromady, lámalo se a nebyly na něm zkoušky pevnosti v tahu provedeny. Bylo by vhodné upravit proces máčení – sušení. Po vybrání vláken z chemikálií vlákna proprat v čisté vodě a až poté je nechat vysušit. Mohlo by dojít k menšímu poškození vlákna.



### 8.8.1 Zkoušení tažných vlastností

Vzhledem k neexistujícím normám pro konopné vlákno užitě jako plnivo betonů, bylo nutné pro část práce použít vlastní metodiku postupů. Pro zkoušení tažných vlastností vláken se postupovalo dle normy ČSN EN 14889 -2 Vlákná do betonu – Část 2: Polymerová vlákna – Definice, specifikace a shoda [29]. Tato norma, jelikož slouží pro zkoušení vláken polymerních, byla použita pouze jako vodítka postupů.

V první řadě bylo třeba definovat základní charakteristiky vlákna, které sloužily pro výpočet a vyhodnocení závěrů ze zkoušky tažnosti.

#### Termíny

- délka – vzdálenost mezi vnějšími konci vlákna
- průměr vlákna – vlákna měřena ve dvou přibližně kolmých směrech; jako průměr vlákna se počítá střední hodnota obou měření
- váha – hmotnost jednotlivého vlákna
- štíhlostní poměr – poměr délky k průměru vlákna
- síla – maximální tahová síla, kterou bylo vlákno schopno přenést
- protažení – maximální protažení vlákna v důsledku působící síly
- pevnost vláken v tahu – maximální tahová síla podělená plochou průřezu vlákna

Délka vlákna mezi vnějšími konci vlákna byla měřena v mm s přesností na celou jednotku. Váha vlákna byla odečtena s přesností 0,0001 g. Průměr vlákna byl měřen posuvným měřidlem ve dvou přibližně na sebe kolmých směrech s přesností na 0,01 mm, čili dle použité normy jsem vycházela z určení, že vlákna splňují eliptický průřez.

Norma ČSN EN 14889 -2 [29] říká, že pro určení pevnosti v tahu  $R_m$  nesmí být rychlost protahování překročena o hodnotu 10 mm/min. Z této informace se vycházelo pro určení rychlosti zkoušení konopných vláken. Polymerová vlákna pro použití se statickou funkcí pro maltu a beton mají deklarovanou pevnost v tahu  $700 \text{ N/mm}^2$ . Oproti tomu vlákna konopná by měly mít pevnost v tahu nižší. Jako ideální rychlost protahování byla zvolena rychlost 10 mm/min do dosažení síly 2 N a poté byla snížena na 5 mm/min, aby nedošlo k rychlému přetržení. Uchycení vlákna na obou koncích bylo 50 mm. Jak udává norma, zkoušeno musí být minimálně 30 vzorků. Pro tento výzkum bylo vybráno 35 neošetřených vláken Monoica A, a dále po 35 ošetřených vláken, jež byly mineralizovány v jednotlivých roztocích po dobu 1 h a poté vysušeny.

Pro doplnění, jestli se naměřené hodnoty významně liší, se vyzkoušelo dále dalších 20 vláken, ošetřených máčením v chemikálii vláken po dobu 24 h. Ukázku výpočtu pevnosti v tahu vyjadřuje rovnice (8). Všechny naměřené hodnoty jsou uvedené v příloze 2 – 8.

$$R_m = \frac{F}{A} = \frac{8,36}{0,0755} = 110,8[MPa] \quad (8)$$



*Obrázek 30: Zkouška vlákna v tahu*

Průměrné naměřené hodnoty uvádí Tabulka 25: Hodnoty tah, Monoica A, neupravená Tabulka 26: Hodnoty tah, Monoica A, demin. Tabulka 27: Hodnoty tah, Monoica A, NaOH Tabulka 28: Hodnoty tah, Monoica A, sklo. Vzhledem k tomu, že pevnost vláken v tahu se počítá jako podíl maximální síly a plochy vlákna, velmi záleží na daných rozměrech vlákna, jež byly měřeny ve dvou na sebe kolmých směrech. Dle rozměrů a míry rozvláknění, vlákna vydržely rozdílnou maximální tahovou sílu.

Tabulka 25: Hodnoty tah, Monoica A, neupravená

<b>Monoica A, neupravená</b>	<b>průměrné hodnoty</b>
<b>délka [mm]</b>	148,1
<b>rozměr 1 [mm]</b>	0,229
<b>rozměr 2 [mm]</b>	0,698
<b>průměr vlákna [mm]</b>	0,464
<b>plocha [mm<sup>2</sup>]</b>	0,169
<b>váha [g]</b>	0,020
<b>síla F [N]</b>	38,56
<b>protažení [mm]</b>	3,389
<b>pevnost v tahu [MPa]</b>	228,3
<b>směrodatná odchylka</b>	423,4

Tabulka 26: Hodnoty tah, Monoica A, demin.

<b>Monoica A, demin. 1 h</b>	<b>průměrné hodnoty</b>	<b>Monoica A, demin. 24 h</b>	<b>průměrné hodnoty</b>
<b>délka [mm]</b>	167,8	<b>délka [mm]</b>	170,6
<b>rozměr 1 [mm]</b>	0,168	<b>rozměr 1 [mm]</b>	0,167
<b>rozměr 2 [mm]</b>	0,602	<b>rozměr 2 [mm]</b>	0,615
<b>průměr vlákna [mm]</b>	0,385	<b>průměr vlákna [mm]</b>	0,391
<b>plocha [mm<sup>2</sup>]</b>	0,116	<b>plocha [mm<sup>2</sup>]</b>	0,134
<b>váha [g]</b>	0,014	<b>váha [g]</b>	0,020
<b>síla F [N]</b>	19,27	<b>síla F [N]</b>	34,75
<b>protažení [mm]</b>	2,871	<b>protažení [mm]</b>	2,716
<b>pevnost v tahu [Mpa]</b>	165,8	<b>pevnost v tahu [Mpa]</b>	378,0
<b>směrodatná odchylka</b>	149,0	<b>směrodatná odchylka</b>	236,3



Tabulka 27: Hodnoty tah, Monoica A, NaOH

<b>Monoica A, NaOH 1 h</b>	<b>průměrné hodnoty</b>	<b>Monoica A, NaOH 24 h</b>	<b>průměrné hodnoty</b>
délka [mm]	153,1	délka [mm]	134,2
rozměr 1 [mm]	0,223	rozměr 1 [mm]	0,294
rozměr 2 [mm]	0,619	rozměr 2 [mm]	0,703
průměr vlákna [mm]	0,421	průměr vlákna [mm]	0,499
plocha [mm <sup>2</sup> ]	0,170	plocha [mm <sup>2</sup> ]	0,195
váha [g]	0,028	váha [g]	0,045
síla F [N]	5,32	síla F [N]	6,18
protažení [mm]	3,224	protažení [mm]	2,777
pevnost v tahu [Mpa]	88,5	pevnost v tahu [Mpa]	31,7
směrodatná odchylka	139,8	směrodatná odchylka	65,0

Tabulka 28: Hodnoty tah, Monoica A, sklo

<b>Monoica A, Bindzil 1 h</b>	<b>průměrné hodnoty</b>	<b>Monoica A, sklo 24 h</b>	<b>průměrné hodnoty</b>
délka [mm]	163,8	délka [mm]	170,1
rozměr 1 [mm]	0,246	rozměr 1 [mm]	0,221
rozměr 2 [mm]	0,817	rozměr 2 [mm]	0,737
průměr vlákna [mm]	0,531	průměr vlákna [mm]	0,479
plocha [mm <sup>2</sup> ]	0,222	plocha [mm <sup>2</sup> ]	0,191
váha [g]	0,020	váha [g]	0,028
síla F [N]	25,394	síla F [N]	5,32
protažení [mm]	2,976	protažení [mm]	2,805
pevnost v tahu [Mpa]	114,5	pevnost v tahu [Mpa]	157,3
směrodatná odchylka	54,8	směrodatná odchylka	145,6

## Závěr

Zkouška pevnosti v tahu u konopných vláken se ukázala jako velmi náročnou zkouškou. Vybrání přibližně stejných vláken se ukázalo, jako největší problematika při posouzení pevnosti vlákna. Maximální pevnost v tahu nejvíce ovlivnily rozměry vlákna, váha, a rozvláknění způsobené jeho úpravou. Čím bylo vlákno těžší, mělo větší rozměry a bylo méně rozvlákněné, tím dosahovalo větších pevností. Vzhledem k možnostem nebylo možné vybrání nejmenšího vlákna, jelikož by nemohlo dojít k jeho uchycení. Vybrané vlákna se tedy skládaly z několika jeho menších částí. Zde se nejvíce projevilo rozvláknění. Čím větší rozvláknění vybrané části bylo, tím menších pevností vlákno dosáhlo. V tomto ohledu se ukázalo, že největších pevností dosahuje vlákno, jež nebylo ošetřeno a vlákno mineralizované

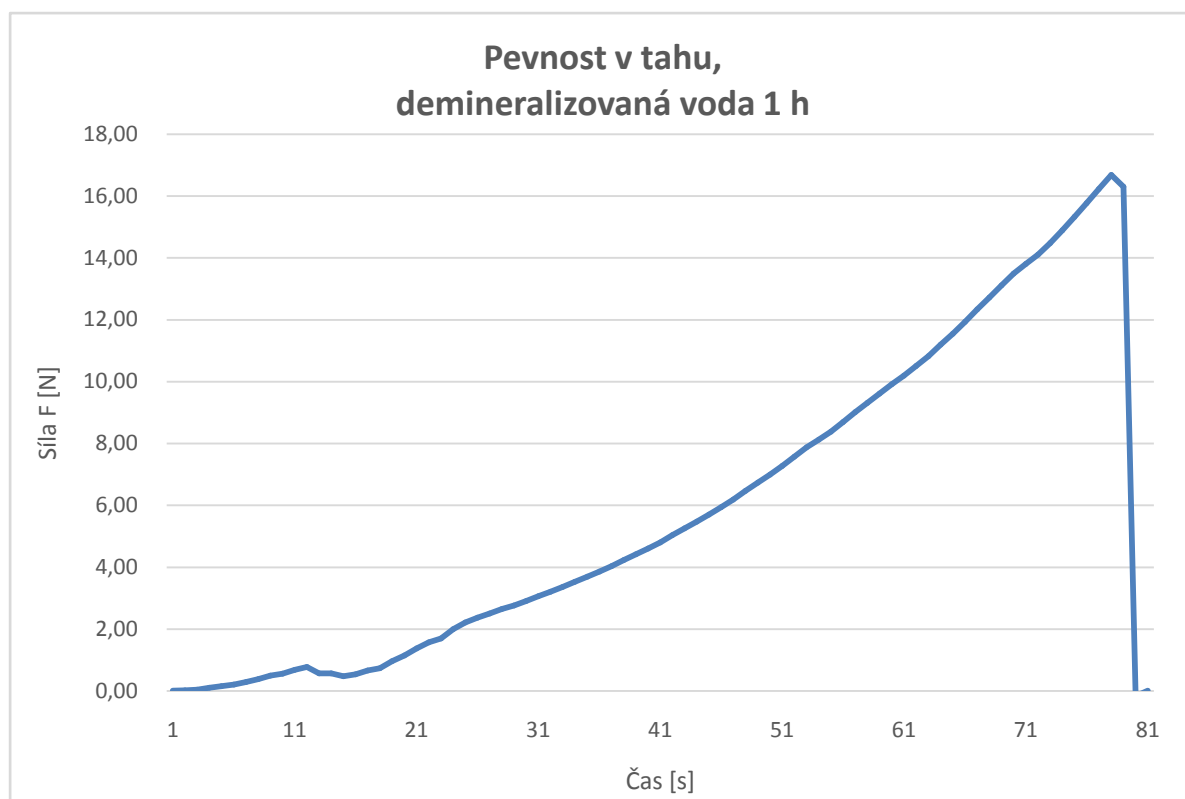
demineralizovanou vodou. Zde došlo k nejmenšímu rozvláknění, a tedy zde byly části vlákna nejvíce kompaktní a silné. Oproti tomu nejmenších pevností dosáhla sada vláken mineralizovaných 10% NaOH. Silné poškození a rozvláknění způsobené chemickou úpravou vlákna mělo za následek, že vlákna se stala křehkými. Nastavená rychlost protahování, jež určovala protahování rychlostí 10 mm/min do dosažení 2 N pro velkou část těchto vláken byla stále vysokou, jelikož část vláken nedosáhla ani požadované pevnosti v tahu 2 N, aby následně mohlo dojít ke snížení rychlosti protahování na 5 mm/min. Tento výsledek prokázal, jak náročné je mineralizování hydroxidem sodným. Vzhledem k mineralizaci (účinku omezení uvolňování LTP látek) a výsledkům průměrné pevnosti v tahu, se ukázaly vlákna mineralizované Bindzilem, jako nejlepší.



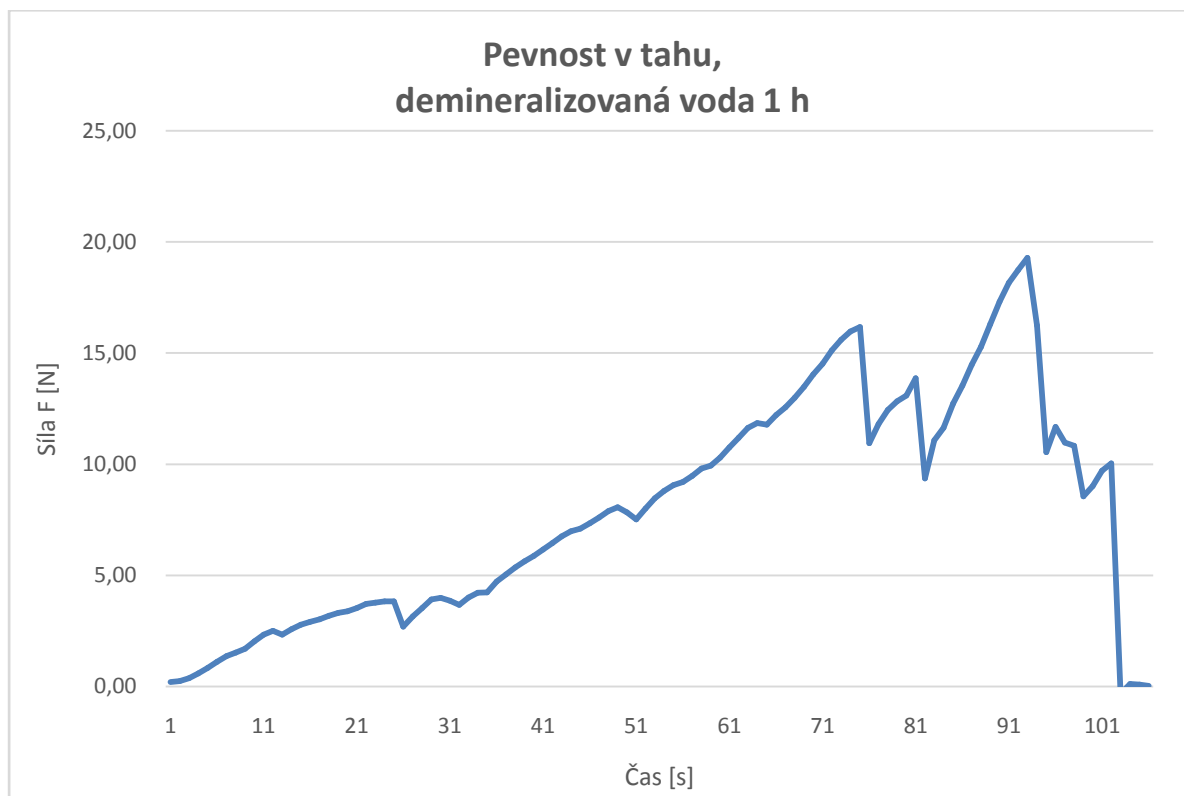
*Obrázek 31: Vlákno sklo 1h po zkoušce tahem*

Při protahování vlákna, docházelo ke dvěma možnostem přetržení. První z možností byl nárůst tahové síly do svého maxima, kdy došlo k přetržení vlákna a ukončení zkoušky. Tuto možnost přibližuje Graf 15: Pevnost v tahu, demineralizovaná voda 1 h.

Druhá možnost, poskytuje obraz o postupném rozvlákňování při daném zatěžování. Vlákno, se při daném zatížení začíná trhat, ale zároveň zbytkové části stále dovolují nárůst maximální tahové síly. To zobrazuje Graf 16.



*Graf 15: Pevnost v tahu, demineralizovaná voda 1 h*



*Graf 16: Demineralizovaný voda 1 h*

Získané výsledky dokazují, že konopné vlákno, je schopno dosáhnout vysokých pevností v tahu. Nejlepších pevností dosahuje vlákno neošetřené, ovšem toto neošetřené vlákno stejně jako pazdeří, by při zkomponování do betonu ovlivnilo chování betonu uvolňováním LTP látek. Dle výsledků této práce, by dalším krokem ke zkoumání, bylo vhodné porovnání neupraveného pazdeří a pazdeří obsahující stopy vláken, jež by byly mineralizované Bindzilem a prokázání jestli se dá či nedá dosáhnout vyšších pevností při nedokonalé čistotě pazdeří

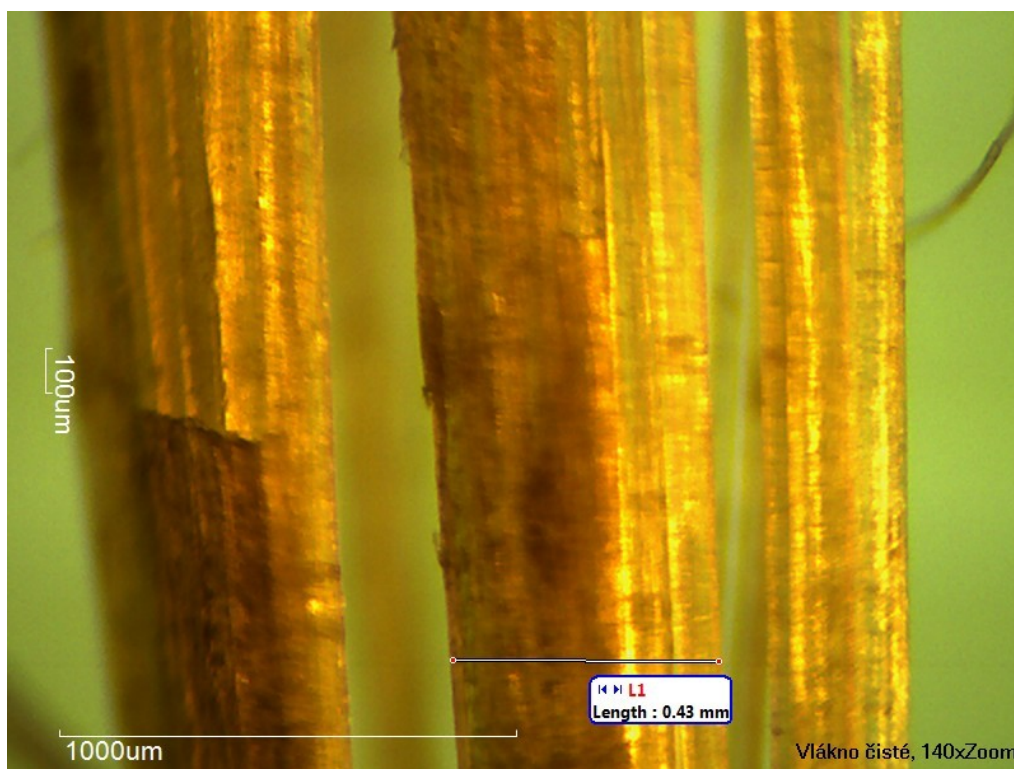
## 8.9 Mikroskopické posouzení

Máčení konopného pazdeří a vlákna chemikálie ovlivňuje jeho samotný povrch. Dochází zde k rozvláknění povrchových částí a zároveň vyplnění a uzavření pórů. Použité povrch upravující látky – demineralizovaná voda, 10% roztok NaOH a Bindzil ukázaly již dotykem zcela rozdílné změny materiálu. Tyto změny bylo možné pozorovat, jak u pazdeří, tak u konopných vláken. Proto bylo provedeno mikroskopické prohlédnutí povrchu optickým mikroskopem. Tento mikroskop využívá k zobrazení světelného paprsku na rozdíl

od elektronického mikroskopu, který funguje na bázi excitace elektronů. Jeho zvětšení je proto menší a dovoluje nám pouze zobrazení vnějšího povrchu, ne detailní zobrazení mikrostruktury. Optický mikroskop, použitý pro tuto práci, dovoluje maximální zvětšení 180 x.

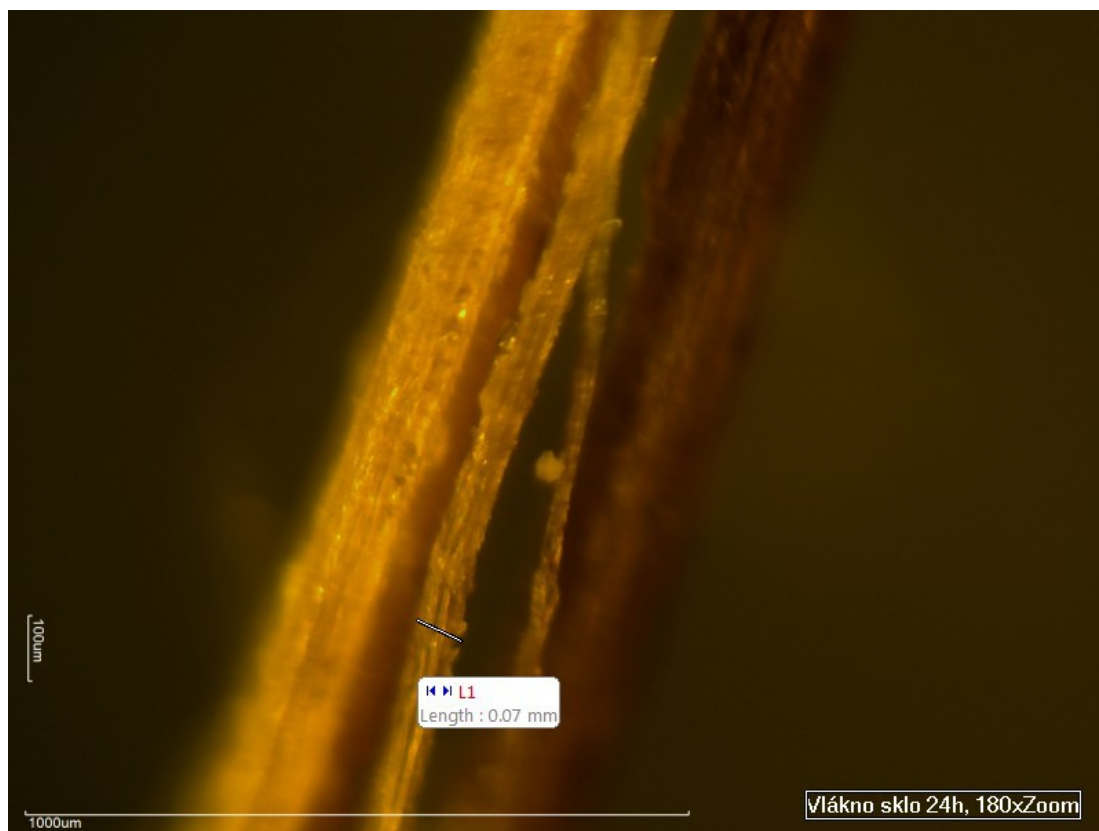
### 8.9.1 Mikroskopie

Pomocí mikroskopu byl proveden základní průzkum konopného vlákna a pazdeří. Použitými vzorky bylo neupravené vlákno a vlákno mineralizované, taktéž pazdeří. Při práci s mikroskopem se jako velmi obtížné projevilo zaostřování požadované oblasti. Vlákno nebylo dokonalým jedním kusem, ale složeno z více částí a i případný stupeň rozvláknění znesnadňoval, nalezení ostré plochy. Po nalezení vhodného obrazu, se pořídil snímek, na kterém bylo maximálně vyloučeno okolní rušení, a našla se vhodná barevná stopa pro zobrazení jednotlivých částí struktury. I přes použití optického mikroskopu, který není schopen přiblížení do velkých hloubek, se podařilo vytvořit několik snímků, na kterých můžeme vidět jemné změny materiálu způsobené máčením. Následující snímky poskytují obraz o povrchu konopného vlákna a pazdeří. Více snímků se nachází v příloze 9-13.

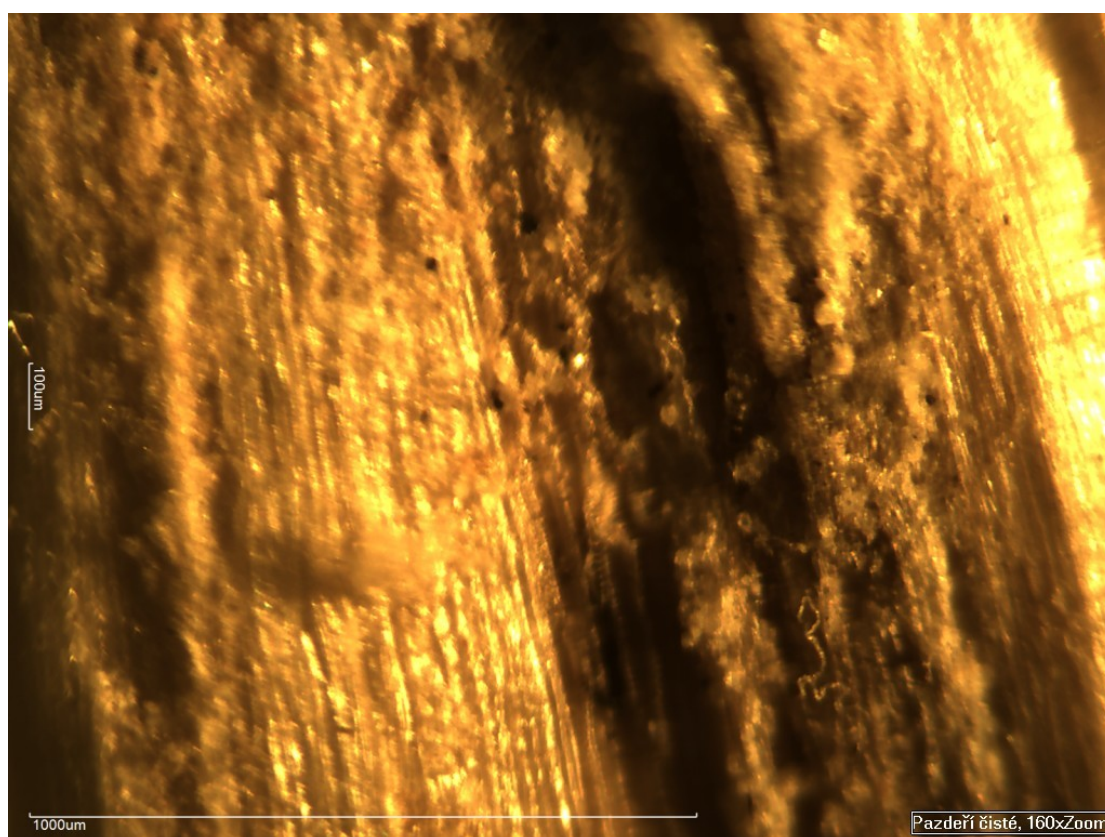


Obrázek 32: Vlákno neupravené, 140x Zoom

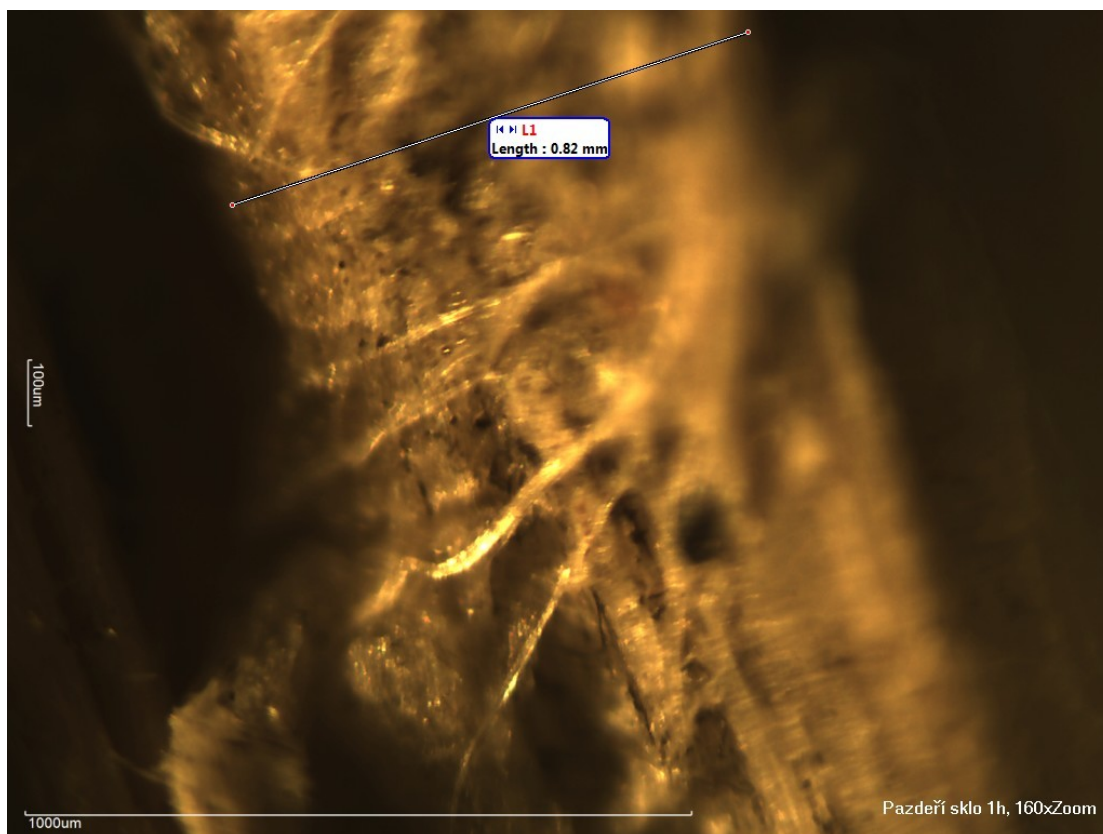




Obrázek 33: Vlákno sklo 24 h, 180x Zoom



Obrázek 34: Pazdeří neupravené, 160x Zoom



*Obrázek 35: Pazdeří sklo 1h, 160x Zoom*

## **Závěr**

Na předchozích snímcích můžeme získat představu o povrchu konopného vlákna a pazdeří v různých stupních úpravy a rozvláknění v porovnání s čistým referenčním vzorkem. Neošetřené vlákno je celistvé, hladké a jsou na něm patrné stopy rozdílnosti tloušťky vlákna – světlejší a tmavší plochy ve snímku. Podobná struktura je vidět i na vlákne ošetřeném demineralizovanou vodou. Tento snímek se nachází v příloze 2. Ze snímku ošetřeného vlákna demineralizovanou vodou tedy lze usoudit, že rozvláknění a poškození vlákna je minimální a demineralizovaná voda pomáhá uzavírat póry jen částečně.

V porovnání s vláknem ošetřeným demineralizovanou vodou můžeme vzít v potaz vlákno a pazdeří ošetřené Bindzilem, jež je uvedeno na snímcích č. 32 a č. 34. Na snímku vlákna, které bylo ponořené do roztoku Bindzilu po 24 h, lze vidět vzniklé krystalky oxidu křemičitého, které obalují povrch vlákna a tím zabraňují v uvolňování LTP látek do betonu. Totéž pozorujeme na snímcích obsahující neošetřené pazdeří a pazdeří mineralizované Bindzilem. Bindzil zcela vyplní póry a strukturu nacházející se na pazdeří a vytváří zde jakousi pavučinu. V příloze 10 - 13 si můžeme prohlédnout, jak vypadá pazdeří ošetřené 10% roztokem hydroxidu sodného.

## Závěr

Cílem této bakalářské práce, bylo shrnutí na poli historickém, současném a budoucím, v oblastech možností využití technického konopí. Tento rychle obnovitelný materiál poskytuje kvalitní surovinu pro výrobu stavebních materiálů. V dnešní době dochází ke znovuobjevování jeho výborných fyzikálně – mechanických vlastností. Tyto informace přibližuje teoretický základ práce v první části. Zároveň naznačuje situaci ve státech Evropy, kde je využívání konopných materiálů ve stavebnictví mnohem více rozšířené. Pole působnosti v těchto zemích poskytuje větší konkurenci firem, a tak se cena konopných materiálů postupně snižuje. Jednou z výhod těchto zemí, je vybavenost stroji pro tírenské zpracování, které taktéž trend snižování cen podporuje. Tyto stroje v naší zemi chybí. Tím je z velké části omezeno i pěstování technického konopí. Mezi pěstiteli by byl zájem, ovšem dovážet konopí na zpracování do zahraničí (např. Polsko, Rakousko), je drahé a neekonomické.

Zjišťování výnosu konopí provedené v praktické části této bakalářské práce je důležitým procesem pro zjišťování výběru rostliny, která by byla vhodná pro pěstování ve stavebním průmyslu. Je jasné, že technické konopí u nás, pokud se již pěstuje, je primárně určeno pro získávání dlouhého vlákna. Vzhledem k tomu, kolik jsme ovšem schopni získat pazdeří (až 8 t/ha), je dobré uvažovat i u nás o celém zpracování rostliny. Jak již ovšem bylo řečeno v odstavci výše, vše se váže na vybavenost naší země pro konopné zpracování, jež se u nás v současné době nenachází. Ze získaných výsledků výnosů hmoty, by bylo vhodné pěstovat u nás pro účely průmyslu variety Carmangola, Beniko a Markant. Tyto rostliny patří mezi ty, jež mají nejvyšší výnosy dále využitelného materiálu a v případě provozu tírny by tyto variety byly vhodné pro pěstování.

Další část práce provádí základní výzkum konopí a jeho vliv jako plnivo v cementové matrici. Konopné pazdeří projevilo vlastnosti, jež ovlivňují nástup pevností betonu. Z tohoto důvodu se přistoupilo k modifikaci pazdeří chemickými látkami a následně bylo provedeno vyhodnocení změny vlivů na nástup pevností betonu. Bylo prokázáno, že nástup pevností betonu je ovlivněn hydratací cementu a ta úzce souvisí s úpravou pazdeří. Vzorky s neošetřeným pazdeřím (nejvyšším podílem uvolňování LTP látek), dosahovaly nejnižších pevností a cement ve středu vzorku byl po zkoušce 28 denních pevností práškovitý. Oproti tomu vzorky s pazdeřím ošetřeným Bindzilem projevily po 28 dnech plnou hydrataci cementu. V rámci dalšího výzkumu by bylo vhodné zvýšit poměr pazdeří ošetřeného Bindzilem v těchto kompozitech a ověřit, zda hydratace cementu probíhá dále na této úrovni,



případně se pokusit najít mineralizující materiál nahrazující Bindzil, jež by umožňoval dosáhnout stejných výsledků.

Úpravy pazdeří použitého v této práci, prokázaly více či méně pozitivních vlastností na další průběhy reakcí s cementem. Například mineralizace pazdeří roztokem oxidu křemičitého prokazatelně snížili jeho nasákavost o polovinu. Z původních hodnot nasákavosti neošetřeného pazdeří  $w = 442 \%$  se tato hodnota podařila snížit o více než polovinu. Oproti tomu úprava 10% hydroxidem sodným, sice snížila nasákavost, ale reakce tohoto pazdeří s cementem se podobala reakcím alkalicko aktivovaných materiálů. Přičemž výsledná pevnost byla nižší než referenční ( $\leq 2,8$  MPa). Bylo také potvrzeno, že úpravy pazdeří mají vliv na výslednou objemovou hmotnost pazdeří (zvyšuje se) a ovlivňují výslednou reakci pazdeří s cementem.

Je jasné, že výzkum konopného pazdeří a jeho využití ve stavebnictví, má do budoucna potenciál a stále se zde nacházejí pole pro hledání jeho vlastností a využití. Jednou z nejbližších, do budoucna zkoumaných oblastí, by mohla být právě snaha částečného nahrazení cementu popílky v kombinaci s mineralizovaným pazdeřím. Taktéž by bylo vhodné zaměřit se na nutnou čistotu pazdeří a vyzkoušet, zda mineralizované pazdeří s krátkým vláknem dokáže pozitivně ovlivnit mechanické vlastnosti cemento - konopných kompozitů. Praktické využití takto upraveného konopného pazdeří a vlákna bychom mohli najít například ve výrobě cementových desek typu cetris a ve výplňových betonech sloupkových systémů staveb.

## Použitá literatura

- [1] CHYBÍK, Josef. *Přírodní stavební materiály*. 1. vydání. Praha: GradaPublishing, 2009, 268 s. ISBN 978-80-247-2532-1.
- [2] SVOBODA, Luboš, Zdenka BAŽANTOVÁ, Milan MYŠKA, Jaroslav NOVÁK, Zdeněk TOBOLKA, Roman VÁVRA, Alena WIMMROVÁ a Jaroslav VÝBORNÝ. *Stavební hmoty*. 1. české vyd. Bratislava: Jaga, 2004, 471 s. ISBN 80-807-6007-1.
- [3] DROCHYTKA, Rostislav a Pavla MATULOVÁ. *Lehké stavební látky: Studijní opory*. Brno, 2006, 203 s.
- [4] LNÁŘSKÝ SVAZ ČESKÉ REPUBLIKY. *Zápisník len a konopí*. Šumperk: Lnářský svaz ČR v nakl. Agritec, 2015. ISBN 978-80-87360-33-0.
- [5] Firemní materiály Agritec Plant research, s.r.o.
- [6] *DEKTIME: časopis společnosti Dektrade pro projektanty a architekty*. Praha: DEKTRADE, 2011, 3. vydání.
- [7] FUWAPE, J.A. *The effect of cement-wood ratio on the strength properties of cement-bonded particle board from spruce: Journal of Tropical Forest Products*. 1995, 49-58.

## Internetové zdroje

- [8] *Mechanical properties of lime-hemp concrete containing shives and fibres* [online]. Lund, Sweden: Elsevier Ltd., 2009, 3 July 2009 [cit. 2015-02-30]. ISSN 1537-5110. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511009000543>
- [9] *Energetické rostliny* [online]. 2007, 16-Jul-2007 [cit. 2015-01-29]. Dostupné z: [http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/skripta/4/energeticke\\_byliny.html#312](http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/skripta/4/energeticke_byliny.html#312)
- [10] *Agroporadna technického konopí* [online]. 2011, 08.11.2011 [cit. 2015-01-29]. Dostupné z: <http://www.magazin-legalizace.cz/cs/articles/detail/236-agroporadna-technickeho-konopi?rubricId=37>
- [11] *Historie konopí I.* [online]. [cit. 2015-01-29]. Dostupné z: <http://www.konopa.cz/historie/historie-konopi-i.html>

- [12] MENOŠEK, Jiří. Využití konopí v současném stavebnictví. In: *Konopa* [online]. [cit. 2015-01-30]. Dostupné z: <http://www.konopa.cz/stavebnictvi/vyuziti-konopi-v-soucasnem-stavebnictvi.html>
- [13] RUMAN, Michal. O TÍRNÁCH, ANEB DOLOVÁNÍ VLÁKEN Z KONOPÍ. In: *Magazin-legalizace* [online]. 2011, 07.03.2011 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.magazin-legalizace.cz/cs/articles/detail/65-o-tirnach-aneb-dolovani-vlaken-z-konopi?rubricId=6>
- [14] CIHLÁŘ, Jan. Čemolen končí a modrý kvítek s ním. In: *Denik.cz* [online]. 2010, 26.5.2010 [cit. 2015-02-06]. Dostupné z: <http://www.denik.cz/ekonomika/cemolen-konci-a-modry-kvitek-zmizi-s-nim20100526.html>
- [15] HEMP FIBRES. In: *Chanvre.oxatis.com* [online]. [cit. 2015-02-06]. Dostupné z: <http://www.chanvre.oxatis.com/PBCPPlayer.asp?ID=223138>
- [16] Len přadný (*Linum usitatissimum* -L.). In: *Zemědělská fakulta, Jihočeská fakulta* [online]. České Budějovice [cit. 2015-02-10]. Dostupné z: [http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/database/Len\\_sety.htm](http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/database/Len_sety.htm)
- [17] Stonek olejného lnu - nevyužitý surovinový zdroj. In: *Lnarský svaz.cz* [online]. [cit. 2015-02-20]. Dostupné z [http://www.lnarskysvaz.cz/new/index.php?option=com\\_content&view=article&id=36%3Astonek-olejneho-lnu-nevyuity-surovinovy-zdroj&catid=7%3Aprojekt-cil3&Itemid=7&lang=cs](http://www.lnarskysvaz.cz/new/index.php?option=com_content&view=article&id=36%3Astonek-olejneho-lnu-nevyuity-surovinovy-zdroj&catid=7%3Aprojekt-cil3&Itemid=7&lang=cs)
- [18] Obytná panelová výstavba: Historie panelových domů. In: *Polir.cz* [online]. [cit. 2015-02-23]. Dostupné z: <http://www.polir.cz/info/panelova-vystavba/panelove-domy/>
- [19] Konopná izolace. CANABEST S.R.O. [online]. [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: [www.konopna-izolace.cz](http://www.konopna-izolace.cz)
- [20] Izolační materiály. In: *Termo izolace z technického konopí* [online]. 2011 [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://www.konopi-izolace.cz/katalog/izolacni-materialy>
- [21] *Rockwool: Tepelné a protipožární izolace* [online]. [cit. 2015-03-06]. Dostupné z: [www.rockwool.cz](http://www.rockwool.cz)
- [22] Isover: Tepelné, zvukové a protipožární izolace. [online]. [cit. 2015-03-06]. Dostupné z: [www.isovert.cz](http://www.isovert.cz)
- [23] Hemp as a natural alternative: HempHouses. In: *Harbay.net* [online]. 2005, October 2005 [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: <http://www.harbay.net/fibre/hemphouses.html>

- [24] Tepelně akustické izolace z přírodních zdrojů. In: *JUTA a.s.* [online]. [cit. 2015-03-14]. Dostupné z: <http://www.juta-turnov.cz/>
- [25] Výroba cementu. In: *Heidelbergcement* [online]. [cit. 2015-03-14]. Dostupné z: [http://www.heidelbergcement.com/cz/cs/country/produkty/cement/vyroba\\_cementu.htm](http://www.heidelbergcement.com/cz/cs/country/produkty/cement/vyroba_cementu.htm)
- [26] Destilovaná voda. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): WikimediaFoundation, 2001- [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Destilovan%C3%A1\\_voda](http://cs.wikipedia.org/wiki/Destilovan%C3%A1_voda)

## **Normy, nařízení a předpisy**

- [27] ČSN EN 196-1 Metody zkoušení cementu – Část 1: Stanovení pevnosti,
- [28] ČSN EN 1008: Záměsová voda do betonu – Specifikace pro odběr vzorků, zkoušení a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané při recyklaci v betonárně, jako záměsové vody do betonu
- [29] ČSN EN 14889 -2 Vlákná do betonu – Část 2: Polymerová vlákna – Definice, specifikace a shoda
- [30] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2010/31/EU ze dne 19. května 2010 o energetické náročnosti budov
- [31] ČSN EN 12350-1 Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost
- [32] ČSN EN 12390-1 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 1: Tvar, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy
- [33] ČSN EN 12390-3 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles
- [34] ČSN EN 12390-7 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu
- [35] ČSN EN 196-3+A1 Metody zkoušení cementu – Část 3: Stanovení dob tuhnutí a objemová stálosti

- [36] ČSN EN 1097-3 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 3: Stanovení sypné hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva
- [37] ČSN EN 993-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor
- [38] ČSN EN 1097-6 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti
- [39] ČSN EN 13501-1 Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb část 1: klasifikace

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Potěrací linka firmy Agritec .....	16
Obrázek 2: Ruční stroj pro tírenské zpracování, Agritec .....	16
Obrázek 3: Ruční stroj pro tírenské zpracování, Agritec .....	16
Obrázek 4: Vlákno konopí .....	17
Obrázek 5: Pazdeří len .....	19
Obrázek 6: Vlákno len.....	19
Obrázek 7: Stonek lnu po sklizni .....	19
Obrázek 8: Nezreagovaný cement po zkoušce 7 - denních pevností .....	30
Obrázek 9: Konopné rouno Zdroj: Dektime 03/2011 .....	32
Obrázek 10: Bi - Co vlákno Zdroj: Dektime 03/2011 .....	32
Obrázek 11: Dřevitá část konopného stonku.....	49
Obrázek 12: Uskladněné konopí .....	50
Obrázek 13: Vážení svazku konopí.....	50
Obrázek 14: Konopný materiál připravený k máčení .....	52
Obrázek 15: Univerzální řezací mlýn FRITSCH .....	56
Obrázek 16: Oddělené vlákna .....	57
Obrázek 17: Posekané vlákna .....	57
Obrázek 18: Oddělené pazdeří .....	57
Obrázek 19: Posekané pazdeří .....	57
Obrázek 20: Vlákno máčené v NaOH, před sušením.....	59
Obrázek 21: Výluhy z pazdeří zleva: výluh neupravené pazdeří, NaOH, Bindzil, demineralizovaná voda.....	68
Obrázek 22: Zkouška pevnosti v ohybu .....	72
Obrázek 23: Zkouška v tlaku .....	72
Obrázek 24: Odformování těles .....	77
Obrázek 25: Vzorek po ochraně formy PE fólií.....	77
Obrázek 26: Rozpadající se cementový kámen, pazdeří neupravené, po zkoušce 28 denních pevností .....	82
Obrázek 27: Tvrdý cementový kámen, pazdeří Bindzil, po zkoušce 7 denních pevností.....	83
Obrázek 28: Výkvěty způsobené vysokým obsahem Na <sup>+</sup> iontů .....	84
Obrázek 29: 7 denní pevnost v tlaku, vzorek N2 .....	84
Obrázek 30: Zkouška vlákna v tahu .....	87
Obrázek 31: Vlákno sklo 1h po zkoušce tahem .....	90
Obrázek 32: Vlákno neupravené, 140x Zoom .....	93

Obrázek 33: Vlákno sklo 24 h, 180x Zoom .....	94
Obrázek 34: Pazdeří neupravené, 160x Zoom .....	94
Obrázek 35: Pazdeří sklo 1h, 160x Zoom .....	95

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Statistická data konopí seté [24] .....	18
Tabulka 2: Statistická data len přadný [24].....	20
Tabulka 3: Tepelně - technické vlastnosti výrobku Naturizol [24].....	21
Tabulka 4: Tepelně technické vlastnosti desek .....	26
Tabulka 5: Tepelně - technické vlastnosti izolačních rohoží .....	28
Tabulka 6: Tepelně - technické vlastnosti konopných rohoží.....	29
Tabulka 7: Třídy reakce na oheň.....	35
Tabulka 8: Vývoj osevních ploch konopí v evropských zemích v ha [24] .....	36
Tabulka 9: Objemové hmotnosti konopí a lnu v kg/m <sup>3</sup> [24].....	40
Tabulka 10: Parametry, Bindzil 1440 .....	48
Tabulka 11: Data Šumperk, měření konopí .....	51
Tabulka 12: Sypná hmotnost pazdeří .....	60
Tabulka 13: Sypná hmotnost vypraného pazdeří .....	60
Tabulka 14: Setřesená hmotnost vypraného pazdeří .....	62
Tabulka 15: Nasákavost pazdeří .....	63
Tabulka 16: Hodnoty, síťový rozbor pazdeří neupravené .....	65
Tabulka 17: Hodnoty, síťový rozbor pazdeří Bindzil 1 h.....	66
Tabulka 18: Hodnoty, síťový rozbor pazdeří NaOH 1 h .....	66
Tabulka 19: Zjištění normální konzistence .....	69
Tabulka 20: Počátky dob tuhnutí .....	70
Tabulka 21: pH výluhů.....	71
Tabulka 22: Zkušební receptury.....	76
Tabulka 23: Objemová hmotnost čerstvé směsi.....	78
Tabulka 24: Průměrné pevnosti v tlaku.....	80
Tabulka 25: Hodnoty tah, Monoica A, neupravená .....	88
Tabulka 26: Hodnoty tah, Monoica A, demin.....	88
Tabulka 27: Hodnoty tah, Monoica A, NaOH .....	89
Tabulka 28: Hodnoty tah, Monoica A, sklo .....	89

## Seznam grafů

Graf 1: Výnos dlouhého vlákna [t/ha].....	54
Graf 2: Výnos koudele [t/ha].....	55
Graf 3: Výnos pazdeří [t/ha].....	55
Graf 4: Křivka zrnitosti, pazdeří neupravené.....	65
Graf 5: Křivka zrnitosti, pazdeří Bindzil 1 h.....	66
Graf 6: Křivka zrnitost, pazdeří NaOH 1 h.....	67
Graf 7: Změna objemové hmotnosti trámečků.....	74
Graf 8: Pevnosti v tahu za ohybu trámečků.....	75
Graf 9: Pevnosti v tlaku trámečků.....	75
Graf 10: Průběh objemové hmotnosti těles.....	79
Graf 11: Nárůst pevností vzorků C1, D1, D2.....	81
Graf 12: Nárůst pevností vzorků C1, S1, S2.....	81
Graf 13: Nárůst pevností vzorků C1, N1, N2.....	82
Graf 14: Nárůst zatěžovací síly, zkouška pevnosti v tlaku.....	83
Graf 15: Pevnost v tahu, demineralizovaná voda 1 h.....	91
Graf 16: Demineralizovaný voda 1 h.....	92



## Přílohy

*Příloha 1: Data Šumperk, měření konopí*

Odrůda	Počet rostlin v metrovce	Hmotnost celé metrovky (g)	Celková délka (cm)	Délka květenství (cm)	Tloušťka stonku (mm)	Číslo měření
Carmagnola	7	1165	179 395 380 400		22,12 20,61 13,32 22,02	1. 6293
			360 371 353		14,04 11,99 7,71	2. 6291
						3. 6294
Ferimon	19	450	190 230 228 132 180		40,60 8,16 5,27 8,10 10,82	1. 6290
			200 255 220 103 201		2,56 8,63 3,96 5,95 8,12	2. -
			269 250 119 86 215		4,91 2,34 6,19 7,81 9,13	3. 6269
			268 242 174 257		5,33 7,15 8,96 9,68	
Fedora	28	510	150 107 133 143 141 123 98 210		4,47 3,19 4,82 3,67 4,11 3,30 3,22 7,43	1. 6268
			231 164 153 269 107 201 153		13,02 4,46 4,24 12,07 4,26 7,45 4,35	2. -
			118 234 157 176 86 185 135		3,07 7,76 5,65 3,68 2,79 4,96 3,53	3. 6267
			118 208 122 100 178 118		3,85 5,61 3,60 2,52 4,94 4,26	
Epsilon	27	380	212 258 245 139 131 157 125		4,82 4,65 6,60 4,82 3,99 3,37 3,25	1. 6266
			227 265 253 159 159 167 200		5,67 5,61 6,02 3,53 3,90 7,68 5,27	2. -
			210 210 270 141 176 132 240		5,77 5,40 7,93 3,55 4,88 3,83 5,87	3. 6261
			299 221 212 109 110 153		9,13 6,20 5,10 2,95 3,22 4,60	
Santhica	20	520	227 172 256 218 257 159 242		5,41 4,46 6,45 5,72 6,99 4,95 6,22	1. 6258

			122 185 188 226 253 164 138		3,42 4,98 4,59 8,15 8,40 4,57 4,06	2. -
			153 258 133 218 287 172 90		3,98 6,97 3,26 5,14 8,13 4,04 2,29	3. 6257
			234 279 245 255 229 203		6,21 7,74 8,75 7,88 6,19 2,64	
Felina	19	600	164 198 237 203 126		4,10 6,44 7,86 6,25 2,74	1. 6256
			215 161 247 233 250		7,10 3,62 8,21 6,84 7,10	
			286 202 267 158 206		12,18 6,49 11,49 4,87 6,24	3. 6264
			285 240 249 163		9,81 6,90 8,75 5,11	
Markant	22	700	185 254 272 244 95 165		5,50 7,82 9,99 7,76 6,21 4,89	1. 6259
			293 167 259 116 241 145		10,52 4,51 9,17 3,28 7,99 4,15	2. -
			229 148 206 202 227		8,43 4,16 4,51 7,50 5,73	3. 6262
			223 301 164 190 214		7,67 11,78 10,99 6,64 5,94	
Fatura	12	710	178 268 315		5,10 7,77 9,51	1. 6263
			322 211 295		11,08 6,11 10,33	2. 6265
			302 301 292		10,36 10,61 8,91	3. 6260
			319 295 249		11,94 12,21 7,67	
Fibrol	17	450	270 285 232 183 124	59 61 28 32 -	9,43 11,69 7,43 5,48 3,00	1. 6255
			158 177 250 150	10 13 44 6	4,36 5,91 8,69 4,18	2. -
			209 284 243 149	19 54 41 3	7,15 10,10 7,31 4,06	3. 6253
			150 222 264 140	9 20 42 12	4,38 5,34 8,35 4,41	
Tigra	21	1400	208 242 95 156 197	89 29 11 22 14	7,33 8,33 4,16 4,54 5,96	1. 6247
			247 209 218 195 129	18 81 37 75 14	6,47 6,61 6,84 8,44 4,62	2. -
			236 248 199 181 164	27 100 26 18 10	7,80 14,99 5,59 5,54 4,40	3. 6254
			256 278 185 128 172	41 118 26 11 25	7,51 14,04 5,30 4,02 4,47	
USO - 31	20	420	267 189 201 213 159	57 22 29 31 12	10,42 5,68 5,43 6,44 5,39	1. 6246
			200 194 244 228 151	31 31 47 30 9	5,26 5,98 6,10 5,86 3,57	2. -
			159 255 199	7 67 25	3,44 8,94 6,65	3. 6252

			197 136	25 4	4,47 3,07	
			208 205 211	38 21 33	6,82 5,79 6,06	
			188 167	9 14	4,15 4,49	
Bialobre- zskie	13	520	246 265 225	59 37 22	7,04 7,70 6,31	1. 6243
			202	21	5,24	
			193 350 190	19 109 11	5,55 13,96 5,70	2. 6244
			258 261 160	45 34 82	6,98 7,20 3,20	3. 6251
			285 263 228	47 50 36	9,05 8,30 6,30	
Uniko - B	15	680	164 335 230	25 87 51	4,95 10,83 8,02	1. 6240
			165	11	4,20	
			225 349 193	35 93 51	7,33 13,47 4,83	2. 6241
			222	18	4,40	
			294 276 126	65 27 4	10,24 7,19 3,65	3. 6242
			181	14	4,76	
			277 273 279	28 53 30	8,69 10,93 6,65	
Carmagnola	14	1130	203 321 385	21 40 169	5,96 9,56 19,18	1. 6234
			209	38	8,16	
			303 346 316	44 41 113	8,84 9,77 10,52	2. 6249
			240	47	6,14	
			430 256 322	53 47 35	17,59 8,71 9,13	3. 6250
					12,21 11,91	
			340 336 244	44 63 32	11,27	
Codimono	12	280	296 287 220	45 45 15	10,41 9,06 5,90	1. 6248
			348 215 212	19 13 26	5,96 5,98 5,43	2. -
			282 267 189	56 9 22	8,97 6,82 4,80	3. 6228
			288 228 196	55 19 9	9,14 5,35 4,14	
Beniko	11	640	279 292 295	45 30 11	9,20 8,38 8,67	1. 6227
			313 235 212	66 53 61	14,29 8,82 5,38	2. 6224
			275 273 171	41 63 17	9,93 10,63 4,89	3. 6225
			235 180	59 26	10,63 5,07	
Finola	34	120	101 116 107	17 3 27	5,56 3,59 5,41	1. 6222
			118 115 103	40 25 40	4,18 3,21 3,38	
			117 99 95	26 25 23	2,91 2,30 3,15	
			99 110 113	9 23 16	3,45 3,02 4,05	2. -
			117 116 100	30 23 35	5,20 4,52 2,51	
			118 102 100	17 58 22	3,08 2,85 2,14	
			112 106 109	30 25 26	9,89 4,48 3,05	3. -
			120 117 115	17 18 24	3,21 4,03 6,05	
			120 115	18 30	8,43 3,05	
Dimono	9	460	111 111 119	31 21 63	5,91 3,52 3,52	
			119 118 120	23 31 5	6,23 3,43 2,33	
			113 117	10 30	6,17 2,75	
Bialobre- skie 2MKS	16	360	212 208 118	65 70 12	9,44 9,17 4,16	1. 6231
			227 178	89 47	11,90 8,55	2. -
			244 134	69 14	12,60 4,57	3. 6233
			235 126	69 8	11,64 4,06	
			235 212 228	34 35 49	7,11 6,69 6,84	1. 6223
			136	32	5,14	

			252 232 239 151	46 34 19 14	9,26 6,69 7,42 4,99	2. -
			217 233 212 183	36 33 45 29	6,24 6,08 6,81 5,82	3. 6221
			248 217 196 141	46 42 16 9	6,65 6,85 9,89 4,63	
Carmagnola	17	400	301 251 228 166 142	36 25 17 19 9	10,66 8,91 9,25 4,70 4,60	1. 6220
			237 281 <sup>s</sup> 236 189	40 23 <sup>s</sup> 20 13	12,46 8,98 <sup>s</sup> 6,43 3,72	2. -
			229 242 163 170	28 34 9 15	13,04 9,41 4,44 5,02	3. 6218
			234 223 183 135	47 13 16 7	7,60 6,91 5,56 4,55	
CS	6	550	350 <sup>s</sup> 278	46 <sup>s</sup> 58	9,51 <sup>s</sup> 9,66	1. 6216
			360 340 <sup>s</sup>	94 35 <sup>s</sup>	12,32 8,68 <sup>s</sup>	2. 6215
			355 249	124 47	16,75 7,27	3. 6217
Carmagnola 1 MKS	12	760	301 297 <sup>s</sup> 224 <sup>s</sup>	83 41 <sup>s</sup> 17 <sup>s</sup>	15,40 10,85 <sup>s</sup> 2,55 <sup>s</sup>	1. 6212
			233 244 157	81 45 77	11,98 10,88 7,41	2.
			214 <sup>s</sup> 250 182	13 <sup>s</sup> 48 32	5,71 <sup>s</sup> 14,61 11,95	3. 6214
			258 <sup>s</sup> 170 215 <sup>s</sup>	48 <sup>s</sup> 23 21 <sup>s</sup>	12,08 <sup>s</sup> 8,51 6,63 <sup>s</sup>	
Bialobrze- skie ošetřená	16	810	216 240 272 245	39 34 36 38	6,29 8,90 8,84 7,45	1. 6211
			285 286 253 216	99 48 59 34	10,42 9,76 10,08 8,25	2. 6207
			283 207 276	50 19 39	9,65 6,35 8,90	3. 6213
			266 292 266	44 53 35	8,91 10,75 8,35	
Bialobrze- skie neošetřená	8	520	273 396	38 68	8,83 12,09	1. 6208
			305 267	71 49	9,95 8,82	2. 6205
			303 166	86 52	10,60 5,74	3. 6206
			261 174	71 12	8,05 4,93	
Bialobrze- skie 1 MKS	22	430	232 76 205 197 160 151	67 48 26 32 7 7	8,93 6,26 6,95 6,25 4,04 3,63	1. 6203
			216 215 217 179 179 153	55 64 24 21 26 20	7,41 9,35 7,15 5,39 4,60 4,00	2.
			278 215 194 144 179 153	37 26 35 12 10 15	5,58 6,00 5,48 4,63 3,48 4,57	3. 6204
			187 181 190 221 <sup>s</sup> 143 138	29 38 24 16	7,14 5,80 4,92 5,16	
Carmagnola Neoš	13	810	360 <sup>s</sup> 266 271 <sup>s</sup> 170	25 <sup>s</sup> 27 25 <sup>s</sup> 14	11,16 <sup>s</sup> 11,26 7,16 <sup>s</sup> 5,76	1. 6297
			381 <sup>s</sup> 305 308	49 <sup>s</sup> 60 61	16,27 <sup>s</sup> 11,84 12,09	2. 6201
			358 <sup>s</sup> 304	27 <sup>s</sup> 49 24	10,37 <sup>s</sup> 13,01	3. 6295

			271		9,24	
			370 <sup>S</sup> 215 236 <sup>S</sup>	27 <sup>S</sup> 16 24 <sup>S</sup>	11,72 <sup>S</sup> 7,64 6,63 <sup>S</sup>	
KC Dóra	17	660	320 284 316 200 214	47 44 50 21 8	10,75 7,84 13,83 5,11 5,31	1. 6200
			293 313 252 289 <sup>S</sup>	35 49 10 12 <sup>S</sup>	8,14 9,83 9,45 6,17 <sup>S</sup>	2. 6202
			330 <sup>S</sup> 237 346 <sup>S</sup> 250	21 <sup>S</sup> 24 19 <sup>S</sup> 20	9,19 <sup>S</sup> 6,35 8,23 <sup>S</sup> 5,13	3. 6209
			331 <sup>S</sup> 265 <sup>S</sup> 243 <sup>S</sup> 217	29 <sup>S</sup> 65 <sup>S</sup> 18 <sup>S</sup> 25	9,28 <sup>S</sup> 6,54 <sup>S</sup> 4,85 <sup>S</sup> 5,23	
Mondica	14	630	300 282 250 206	27 27 16 12	7,91 7,48 6,51 6,70	1. 6230
			285 310 244 282 <sup>S</sup>	27 37 24 22 <sup>S</sup>	7,46 12,01 7,56 7,91 <sup>S</sup>	2. 6210
			280 239 295	22 43 20	6,71 10,09 7,66	3. 5118
			320 289 217	30 42 11	10,17 8,58 5,11	
Tiborsza- llasi	22	480	235 309 <sup>S</sup> 311 213 277 <sup>S</sup> 185 <sup>S</sup>	11 12 <sup>S</sup> 21 13 12 <sup>S</sup> 9 <sup>S</sup>	5,33 7,07 <sup>S</sup> 6,40 5,88 6,18 <sup>S</sup> 3,43 <sup>S</sup>	1. 5160
			281 <sup>S</sup> 217 <sup>S</sup> 259 189 198 154	9 <sup>S</sup> 23 <sup>S</sup> 29 17 22 9	6,48 <sup>S</sup> 6,84 <sup>S</sup> 8,46 4,50 6,28 4,73	2.
			296 265 241 267 <sup>S</sup> 213 <sup>S</sup>	43 41 21 18 <sup>S</sup> 20 <sup>S</sup>	9,89 9,66 6,54 4,63 <sup>S</sup> 3,68 <sup>S</sup>	3. 5173
			249 303 235 295 <sup>S</sup> 188	16 16 22 11 <sup>S</sup> 12	5,21 6,66 6,06 6,32 <sup>S</sup> 5,71	
Tisza	10	240	266 276 <sup>S</sup> 246 196	44 30 <sup>S</sup> 40 5	5,48 8,05 <sup>S</sup> 6,55 4,68	1. 5187
			333 <sup>S</sup> 231 274 <sup>S</sup>	78 <sup>S</sup> 52 10 <sup>S</sup>	9,68 <sup>S</sup> 8,61 7,47 <sup>S</sup>	2.
			297 205 253	27 43 33	10,33 5,23 4,14	3. 5194

*Příloha 2: Data pevnost v tahu, Monoica neupravená*

	Monoica A neupravená									
počet	délka [mm]	rozměr 1 [mm]	rozměr 2 [mm]	průměr vlákna [mm]	plocha [mm <sup>2</sup> ]	štíhlostní poměr	váha [g]	síla F [N]	protažení	pevnost v tahu [N/mm <sup>2</sup> ]
1	150	0,21	0,81	0,51	0,2043	294,12	0,0338	27,52024	2,709	134,7169
2	151	0,13	0,93	0,53	0,2206	284,91	0,0225	14,29533	5,019	64,79665
3	149	0,13	0,19	0,16	0,0201	931,25	0,0153	35,03693	4,42	1742,594
4	152	0,1	0,21	0,155	0,0189	980,65	0,0094	16,22251	4,385	859,7352
5	153	0,16	0,77	0,465	0,1698	329,03	0,0267	41,73318	4,322	245,7455
6	149	0,21	0,5	0,355	0,0990	419,72	0,0132	4,90383	4,618	49,54374
7	151	0,32	1,05	0,685	0,3685	220,44	0,0308	59,2279	2,471	160,7146
8	150	0,2	0,78	0,49	0,1886	306,12	0,0252	46,16359	3,841	244,8035
9	156	0,41	0,82	0,615	0,2971	253,66	0,0147	35,18356	2,985	118,4404
10	152	0,33	0,82	0,575	0,2597	264,35	0,0251	92,98144	2,655	358,0723
11	148	0,18	0,81	0,495	0,1924	298,99	0,0217	31,4933	3,64	163,6507
12	150	0,13	0,14	0,135	0,0143	1111,11	0,0111	16,15617	3,491	1128,707
13	150	0,33	0,39	0,36	0,1018	416,67	0,0079	9,253945	2,578	90,91426
14	109	0,2	0,83	0,515	0,2083	211,65	0,0186	57,40895	3,429	275,5975
15	155	0,16	1,29	0,725	0,4128	213,79	0,0185	51,67281	3,369	125,1688
16	152	0,13	0,53	0,33	0,0855	460,61	0,0372	73,8563	3,32	863,5148
17	155	0,15	0,77	0,46	0,1662	336,96	0,0127	30,55764	3,235	183,8714
18	155	0,18	0,86	0,52	0,2124	298,08	0,0243	41,00699	4,155	193,0907
19	150	0,17	0,44	0,305	0,0731	491,80	0,0339	57,94312	3,438	793,0714
20	152	0,3	1,02	0,66	0,3421	230,30	0,0145	23,53671	3,09	68,79675
21	124	0,45	0,46	0,455	0,1626	272,53	0,0217	63,55707	1,994	390,887
22	148	0,3	0,8	0,55	0,2376	269,09	0,0135	39,24041	4,454	165,1651
23	150	0,22	1,04	0,63	0,3117	238,10	0,0346	18,4639	2,8	59,23146
24	150	0,25	0,12	0,185	0,0269	810,81	0,0222	46,19152	3,663	1718,418
25	149	0,26	0,77	0,515	0,2083	289,32	0,0107	32,40801	4,463	155,5779
26	150	0,11	0,71	0,41	0,1320	365,85	0,0243	59,30122	3,8	449,1651
27	151	0,18	0,89	0,535	0,2248	282,24	0,02	48,3177	2,699	214,9358
28	151	0,33	1,01	0,67	0,3526	225,37	0,0233	65,06879	2,779	184,5581
29	142	0,38	0,54	0,46	0,1662	308,70	0,0204	59,26281	2,486	356,5962
30	129	0,15	0,78	0,465	0,1698	277,42	0,0092	18,35218	2,711	108,0667
31	150	0,12	0,83	0,475	0,1772	315,79	0,0176	42,27083	4,105	238,5414
32	149	0,19	0,6	0,395	0,1225	377,22	0,0143	28,68376	3,08	234,0734
33	151	0,2	0,61	0,405	0,1288	372,84	0,0099	1,713745	2,414	13,3029
34	150	0,51	0,61	0,56	0,2463	267,86	0,0224	50,80441	2,854	206,2697
35	151	0,25	0,7	0,475	0,1772	317,89	0,0159	9,719214	3,143	54,84715
<b>průměr</b>	<b>148,1142857</b>	<b>0,22943</b>	<b>0,698</b>	<b>0,463714</b>	<b>0,1689</b>	<b>319,41</b>	<b>0,019917</b>	<b>38,55743</b>	<b>3,389</b>	<b>228,306</b>

*Příloha 3: Data pevnost v tahu, Monoica demin. 1 h*

	Monoica A, destil 1h									
	délka [mm]	rozměr 1 [mm]	rozměr 2 [mm]	průměr vlákna [mm]	plocha [mm <sup>2</sup> ]	štíhlostní poměr	váha [g]	síla F [N]	protažení	pevnost v tahu [N/mm <sup>2</sup> ]
1	172	0,15	0,39	0,27	0,0573	637,04	0,0163	19,28528	3,256	336,8282
2	162	0,14	0,89	0,515	0,2083	314,56	0,0127	26,41444	2,228	126,8052
3	152	0,21	0,62	0,415	0,1353	366,27	0,0138	4,105261	3,613	30,34972
4	168	0,14	0,73	0,435	0,1486	386,21	0,01	16,6773	2,949	112,2167
5	165	0,21	0,9	0,555	0,2419	297,30	0,0106	7,959617	1,628	32,90155
6	168	0,1	0,55	0,325	0,0830	516,92	0,0159	15,07132	2,332	181,6748
7	171	0,07	0,55	0,31	0,0755	551,61	0,0121	16,96708	2,504	224,7987
8	172	0,1	0,65	0,375	0,1104	458,67	0,0108	7,401015	3,229	67,00988
9	159	0,11	0,4	0,255	0,0511	623,53	0,0045	8,116724	3,405	158,9317
10	167	0,25	0,6	0,425	0,1419	392,94	0,012	13,96808	3,015	98,46209
11	168	0,17	0,79	0,48	0,1810	350,00	0,013	14,86185	2,553	82,12973
12	169	0,21	0,97	0,59	0,2734	286,44	0,0166	19,92069	3,029	72,86357
13	166	0,11	0,81	0,46	0,1662	360,87	0,0152	21,71869	2,913	130,6857
14	166	0,19	0,57	0,38	0,1134	436,84	0,0113	19,13864	3,295	168,754
15	168	0,11	0,55	0,33	0,0855	509,09	0,0134	10,11024	3,375	118,2071
16	169	0,18	0,31	0,245	0,0471	689,80	0,0091	21,61395	2,877	458,4713
17	175	0,29	0,61	0,45	0,1590	388,89	0,0173	18,70573	2,155	117,6142
18	172	0,15	0,31	0,23	0,0415	747,83	0,0093	18,12269	2,732	436,1913
19	159	0,09	0,92	0,505	0,2003	314,85	0,0206	36,82888	2,733	183,8721
20	163	0,18	0,31	0,245	0,0471	665,31	0,0088	17,8783	3,039	379,2313
21	180	0,3	0,65	0,475	0,1772	378,95	0,0229	17,36508	3,636	97,99406
22	167	0,11	0,53	0,32	0,0804	521,88	0,0196	37,24783	2,69	463,1388
23	167	0,09	0,46	0,275	0,0594	607,27	0,0144	26,20147	3,227	441,1339
24	162	0,11	0,3	0,205	0,0330	790,24	0,0091	22,16557	2,408	671,5546
25	169	0,17	0,73	0,45	0,1590	375,56	0,0163	26,6309	2,988	167,4445
26	156	0,06	0,53	0,295	0,0683	528,81	0,0101	16,81346	2,171	245,9933
27	170	0,14	0,47	0,305	0,0731	557,38	0,0063	3,323218	2,292	45,48511
28	174	0,33	0,42	0,375	0,1104	464,00	0,0201	30,60047	3,102	277,0611
29	169	0,09	0,54	0,315	0,0779	536,51	0,0179	14,01696	2,631	179,8634
30	170	0,19	0,48	0,335	0,0881	507,46	0,0097	12,33417	3,026	139,9363
31	169	0,25	0,91	0,58	0,2642	291,38	0,0208	24,41045	3,192	92,39107
32	170	0,3	0,88	0,59	0,2734	288,14	0,0186	16,09426	2,456	58,86771
33	168	0,14	0,67	0,405	0,1288	414,81	0,0234	41,9366	3,258	325,5317
34	171	0,2	0,69	0,445	0,1555	384,27	0,0184	29,10271	2,97	187,1214
35	180	0,23	0,37	0,3	0,0707	600,00	0,015	21,34862	3,565	302,0211
<b>průměr</b>	<b>167,8</b>	<b>0,16771</b>	<b>0,6017</b>	<b>0,384714</b>	<b>0,1162</b>	<b>436,17</b>	<b>0,014169</b>	<b>19,27022</b>	<b>2,870629</b>	<b>165,7754</b>

*Příloha 4: Data pevnost v tahu, Monoica demin. 24 h*

	Monoica A, destil 24h									
	délka [mm]	rozměr 1 [mm]	rozměr 2 [mm]	průměr vlákna [mm]	plocha [mm <sup>2</sup> ]	štíhlostní poměr	váha [g]	síla F [N]	protažení	pevnost v tahu [N/mm <sup>2</sup> ]
1	174	0,17	0,64	0,405	0,1288	429,63	0,029	36,0501	4,339	279,8379
2	176	0,14	0,51	0,325	0,0830	541,54	0,0102	13,81074	2,507	166,4794
3	170	0,21	0,54	0,375	0,1104	453,33	0,0227	55,95728	2,469	506,6455
4	168	0,23	0,66	0,445	0,1555	377,53	0,0351	49,82662	2,137	320,3698
5	195	0,21	0,74	0,475	0,1772	410,53	0,0252	20,92594	2,07	118,0886
6	172	0,14	0,74	0,44	0,1521	390,91	0,0191	40,4037	2,434	265,721
7	173	0,1	0,6	0,35	0,0962	494,29	0,0103	17,93043	2,56	186,3652
8	190	0,33	0,83	0,58	0,2642	327,59	0,0241	43,91941	2,427	166,2305
9	175	0,12	1,15	0,635	0,3167	275,59	0,0245	43,13736	2,373	136,2123
10	189	0,12	0,46	0,29	0,0661	651,72	0,0194	35,29249	2,863	534,3139
11	160	0,24	0,26	0,25	0,0491	640,00	0,0173	26,43515	3,467	538,5325
12	161	0,13	0,35	0,24	0,0452	670,83	0,015	29,64363	2,385	655,268
13	168	0,18	0,39	0,285	0,0638	589,47	0,025	49,18074	3,048	770,9309
14	171	0,12	0,31	0,215	0,0363	795,35	0,0142	27,4965	2,848	757,3744
15	170	0,18	1	0,59	0,2734	288,14	0,0231	37,37678	3,564	136,7124
16	169	0,02	0,36	0,19	0,0284	889,47	0,0132	24,99675	2,783	881,6303
17	166	0,01	0,55	0,28	0,0616	592,86	0,0084	19,97981	3,66	324,4781
18	166	0,21	0,92	0,565	0,2507	293,81	0,0173	26,58528	2,114	106,0363
19	165	0,27	0,81	0,54	0,2290	305,56	0,0226	46,3982	2,531	202,5927
20	166	0,27	0,81	0,54	0,2290	307,41	0,0301	55,98871	2,324	244,4686
21	140	0,12	0,36	0,24	0,0452	583,33	0,0136	29,19325	2,54	645,3126
22	169	0,15	0,53	0,34	0,0908	497,06	0,0151	33,89948	2,31	373,375
<b>průměr</b>	<b>170,590909</b>	<b>0,16682</b>	<b>0,6145</b>	<b>0,390682</b>	<b>0,1342</b>	<b>491,1788</b>	<b>0,01975</b>	<b>34,74674</b>	<b>2,716045</b>	<b>378,0444</b>



*Příloha 5: Data pevnost v tahu, Monoica NaOH 1 h*

	Monoica A, NaOH 1h									
	délka [mm]	rozměr 1 [mm]	rozměr 2 [mm]	průměr vlákna [mm]	plocha [mm <sup>2</sup> ]	štíhlostní poměr	váha [g]	síla F [N]	protažení	pevnost v tahu [N/mm <sup>2</sup> ]
1	158	0,11	0,18	0,145	0,0165	1089,66	0,0119	1,88633	4,689	114,2331
2	159	0,11	0,46	0,285	0,0638	557,89	0,0128	5,210014	2,54	81,66938
3	155	0,12	0,11	0,115	0,0104	1347,83	0,0129	6,69031	4,06	644,1109
4	155	0,12	0,13	0,125	0,0123	1240,00	0,0156	1,77461	3,682	144,6082
5	149	0,11	1,06	0,585	0,2688	254,70	0,0158	1,823487	4,104	6,784239
6	165	0,19	0,35	0,27	0,0573	611,11	0,0637	13,26436	2,657	231,6695
7	119	0,26	0,83	0,545	0,2333	218,35	0,0289	7,549161	2,237	32,36054
8	165	0,38	0,77	0,575	0,2597	286,96	0,0327	5,405524	1,785	20,81672
9	135	0,23	0,88	0,555	0,2419	243,24	0,03	7,919235	1,67	32,73462
10	119	0,18	0,32	0,25	0,0491	476,00	0,0188	3,269918	2,428	66,61422
11	162	0,16	0,52	0,34	0,0908	476,47	0,0243	2,25396	2,623	24,82553
12	165	0,33	0,79	0,56	0,2463	294,64	0,0344	12,41005	3,626	50,38573
13	160	0,2	0,94	0,57	0,2552	280,70	0,0441	0,717804	7,904	2,812977
14	158	0,14	0,64	0,39	0,1195	405,13	0,0223	10,95419	2,272	91,69828
15	161	0,3	1,1	0,7	0,3848	230,00	0,0463	4,118295	2,847	10,70118
16	156	0,29	1,12	0,705	0,3904	221,28	0,0432	4,795601	1,806	12,28499
17	158	0,27	0,32	0,295	0,0683	535,59	0,0286	2,121292	3,212	31,03606
18	159	0,54	0,93	0,735	0,4243	216,33	0,0333	6,352704	3,922	14,97249
19	148	0,22	0,73	0,475	0,1772	311,58	0,017	3,915802	2,669	22,09752
20	155	0,19	0,2	0,195	0,0299	794,87	0,0233	3,999592	3,744	133,9234
<b>průměr</b>	<b>153,05</b>	<b>0,2225</b>	<b>0,619</b>	<b>0,42075</b>	<b>0,169981</b>	<b>504,6163</b>	<b>0,027995</b>	<b>5,321612</b>	<b>3,22385</b>	<b>88,51698</b>

*Příloha 6: Data pevnost v tahu, Monoica NaOH 24 h*

	Monoica A, NaOH 24h									
	délka [mm]	rozměr 1 [mm]	rozměr 2 [mm]	průměr vlákna [mm]	plocha [mm <sup>2</sup> ]	štíhlostní poměr	váha [g]	síla F [N]	protažení [mm]	pevnost v tahu [N/mm <sup>2</sup> ]
1	135	0,24	0,94	0,59	0,2734	228,81	0,0271	31,58395	1,577	115,5241
2	136	0,2	0,75	0,475	0,1772	286,32	0,299	12,74986	1,754	71,94961
3	140	0,26	1,03	0,645	0,3267	217,05	0,375	6,002647	5,902	18,37103
4	142	0,43	0,78	0,605	0,2875	234,71	0,0416	15,01593	2,777	52,23379
5	128	0,4	0,87	0,635	0,3167	201,57	0,0313	4,248403	2,404	13,41493
6	141	0,37	0,85	0,61	0,2922	231,15	0,0156	6,98474	2,948	23,90015
7	132	0,36	0,66	0,51	0,2043	258,82	0,0127	1,259648	5,128	6,16622
8	115	0,45	0,74	0,595	0,2781	193,28	0,0175	2,984333	2,375	10,73306
9	140	0,23	0,72	0,475	0,1772	294,74	0,022	2,288524	4,048	12,91452
10	116	0,15	0,45	0,3	0,0707	386,67	0,0135	5,743246	3,141	81,25031
11	135	0,45	0,8	0,625	0,3068	216,00	0,029	3,596119	3,04	11,72152
12	140	0,25	0,86	0,555	0,2419	252,25	0,0226	2,720626	2,19	11,24587
13	119	0,35	1	0,675	0,3578	176,30	0,0198	1,45993	4,206	4,079761
14	141	0,22	0,53	0,375	0,1104	376,00	0,0267	3,446111	2,427	31,20159
15	135	0,41	0,63	0,52	0,2124	259,62	0,0146	1,5919	4,713	7,495822
16	136	0,41	0,92	0,665	0,3473	204,51	0,0284	5,456148	2,394	15,70916
17	134	0,28	0,74	0,51	0,2043	262,75	0,024	3,560042	3,072	17,42709
18	136	0,26	0,77	0,515	0,2083	264,08	0,0254	0,868277	4,757	4,168254
19	119	0,32	0,53	0,425	0,1419	280,00	0,0229	4,069767	2,228	28,6881
20	140	0,34	0,79	0,565	0,2507	247,79	0,0209	7,543575	1,679	30,0878
21	141	0,26	0,56	0,41	0,1320	343,90	0,0279	3,779992	2,102	28,63079
22	135	0,4	0,76	0,58	0,2642	232,76	0,0198	6,772005	2,326	25,63135
23	139	0,22	0,62	0,42	0,1385	330,95	0,032	14,1665	2,874	102,2526
24	139	0,17	0,58	0,375	0,1104	370,67	0,0156	13,62187	2,407	123,3344
25	139	0,12	0,58	0,35	0,0962	397,14	0,016	4,817712	4,018	50,0743
26	140	0,53	0,53	0,53	0,2206	264,15	0,0148	3,424697	2,383	15,52318
27	139	0,29	1	0,645	0,3267	215,50	0,0277	4,440655	1,683	13,59057
28	130	0,2	0,37	0,285	0,0638	456,14	0,0333	3,676068	2,504	57,62408
29	133	0,11	0,21	0,16	0,0201	831,25	0,0157	7,477357	1,479	371,8932
30	132	0,2	0,52	0,36	0,1018	366,67	0,0227	5,505607	1,828	54,08917
31	137	0,27	0,61	0,44	0,1521	311,36	0,0189	2,918581	2,159	19,19448
32	130	0,27	1,03	0,65	0,3318	200,00	0,0226	3,951995	3,415	11,90967
33	135	0,17	0,86	0,515	0,2083	262,14	0,0249	6,106105	0,516	29,31298
34	130	0,44	0,73	0,585	0,2688	222,22	0,0148	6,015332	2,123	22,37989
35	137	0,27	0,28	0,275	0,0594	498,18	0,18	6,561133	2,623	110,4647
<b>průměr</b>	<b>134,171429</b>	<b>0,2943</b>	<b>0,70286</b>	<b>0,498571</b>	<b>0,1952</b>	<b>269,11</b>	<b>0,045037</b>	<b>6,183125</b>	<b>2,777133</b>	<b>31,67112</b>

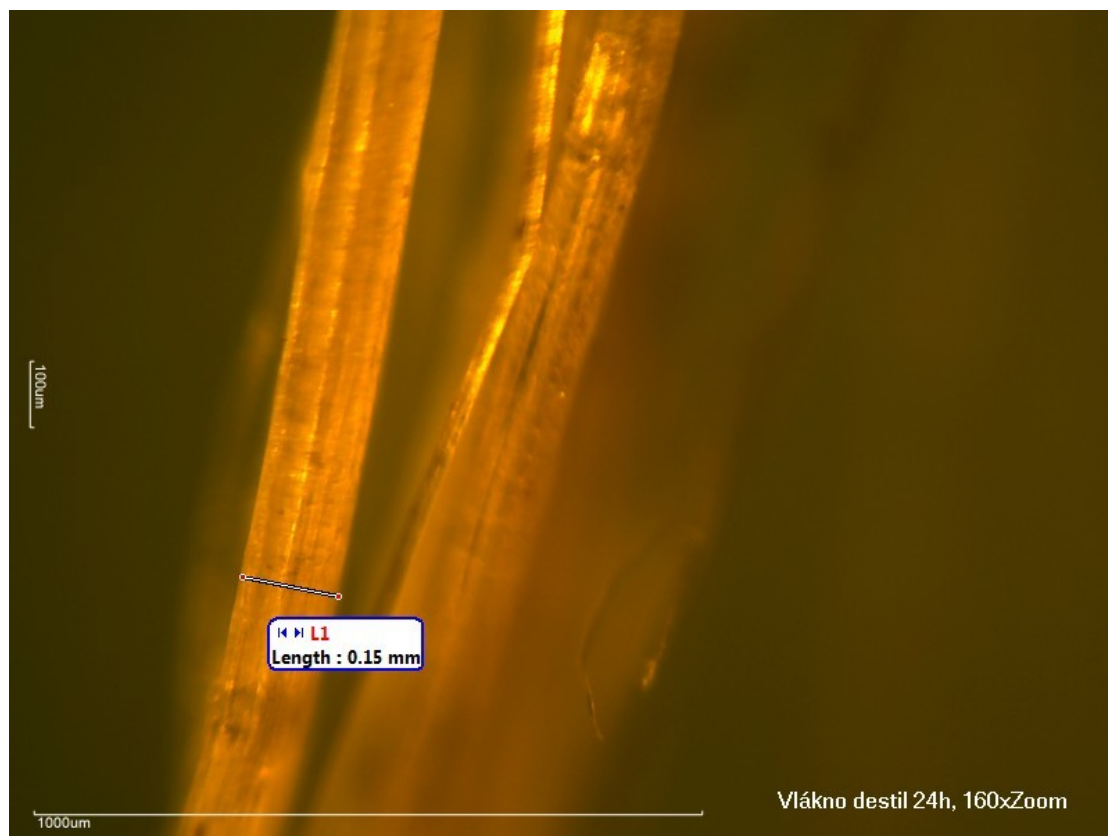
*Příloha 7: Data pevnost v tahu, Monoica Bindzil 1 h*

	Monoica A, Bindzil 1h									
	délka [mm]	rozměr 1 [mm]	rozměr 2 [mm]	průměr vlákna [mm]	plocha [mm <sup>2</sup> ]	štíhlostní poměr	váha [g]	síla F [N]	protažení [mm]	pevnost v tahu [MPa]
1	168	0,17	0,45	0,31	0,0755	541,94	0,0080	8,36	2,22	110,8
2	177	0,43	0,97	0,7	0,3848	252,86	0,0242	35,23	3,33	91,5
3	175	0,16	0,7	0,43	0,1452	406,98	0,0160	30,38	2,94	209,2
4	147	0,32	0,86	0,59	0,2734	249,15	0,0192	26,69	3,39	97,6
5	174	0,35	0,7	0,525	0,2165	331,43	0,0276	37,82	3,16	174,7
6	168	0,31	0,79	0,55	0,2376	305,45	0,0162	32,35	3,43	136,2
7	163	0,23	0,93	0,58	0,2642	281,03	0,0286	34,92	3,14	132,2
8	168	0,34	0,93	0,635	0,3167	264,57	0,0274	36,28	2,74	114,6
9	172	0,19	0,73	0,46	0,1662	373,91	0,0165	20,95	3,02	126,1
10	175	0,31	1,12	0,715	0,4015	244,76	0,0303	34,64	2,85	86,3
11	176	0,27	0,96	0,615	0,2971	286,18	0,0336	45,19	3,42	152,1
12	186	0,19	0,7	0,445	0,1555	417,98	0,0212	25,35	2,89	163,0
13	177	0,14	0,78	0,46	0,1662	384,78	0,0195	23,93	3,46	144,0
14	179	0,17	0,62	0,395	0,1225	453,16	0,0294	14,97	2,96	122,1
15	172	0,19	0,98	0,585	0,2688	294,02	0,0238	32,29	3,29	120,1
16	169	0,19	0,74	0,465	0,1698	363,44	0,0124	16,24	3,27	95,6
17	171	0,34	0,8	0,57	0,2552	300,00	0,0221	23,39	2,17	91,7
18	169	0,09	0,58	0,335	0,0881	504,48	0,0099	21,86	2,56	248,0
19	167	0,35	0,87	0,61	0,2922	273,77	0,0204	27,78	2,53	95,1
20	168	0,11	0,23	0,17	0,0227	988,24	0,0063	6,39	2,74	281,5
21	180	0,27	0,96	0,615	0,2971	292,68	0,0262	44,55	3,71	150,0
22	169	0,32	0,92	0,62	0,3019	272,58	0,0138	17,35	2,78	57,5
23	160	0,15	0,83	0,49	0,1886	326,53	0,0152	17,29	2,84	91,7
24	171	0,14	0,83	0,485	0,1847	352,58	0,0246	12,90	2,63	69,8
25	127	0,23	0,51	0,37	0,1075	343,24	0,0192	26,05	3,37	242,3
26	127	0,23	0,79	0,51	0,2043	249,02	0,0074	17,03	2,41	83,3
27	160	0,24	0,83	0,535	0,2248	299,07	0,0225	33,98	2,97	151,1
28	125	0,17	0,95	0,56	0,2463	223,21	0,0134	24,61	3,15	99,9
29	160	0,19	0,69	0,44	0,1521	363,64	0,0109	15,97	3,16	105,0
30	170	0,28	1,01	0,645	0,3267	263,57	0,0185	12,03	3,40	36,8
31	153	0,21	1,05	0,63	0,3117	242,86	0,0300	20,39	3,05	65,4
32	136	0,45	0,81	0,63	0,3117	215,87	0,0241	14,60	1,60	46,8
33	180	0,21	1,2	0,705	0,3904	255,32	0,0298	30,67	3,69	78,6
34	136	0,22	0,79	0,505	0,2003	269,31	0,0185	20,06	3,00	100,1
35	158	0,44	0,99	0,715	0,4015	220,98	0,0278	46,33	2,90	115,4
<b>průměr</b>	<b>163,8</b>	<b>0,2457</b>	<b>0,8171</b>	<b>0,531429</b>	<b>0,2218</b>	<b>308,23</b>	<b>0,020414</b>	<b>25,39</b>	<b>2,98</b>	<b>114,5</b>

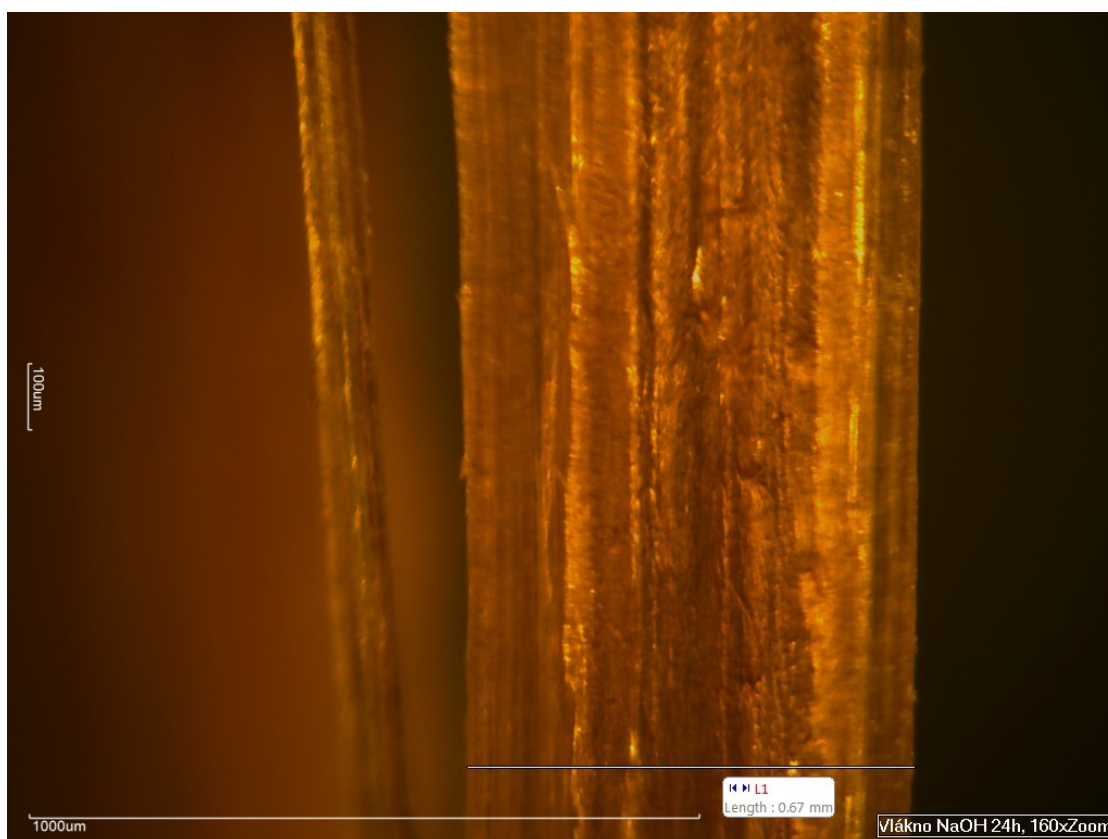
*Příloha 8: Data pevnost v tahu, Monoica Bindzil 24 h*

	Monoica A, Bindzil 24h									
	délka [mm]	rozměr 1 [mm]	rozměr 2 [mm]	průměr vlákna [mm]	plocha [mm <sup>2</sup> ]	štíhlostní poměr	váha [g]	síla F [N]	protažení	pevnost v tahu [N/mm <sup>2</sup> ]
1	165	0,32	0,86	0,59	0,2734	279,66	0,0422	19,7808	4,705	72,35192
2	175	0,35	0,7	0,525	0,2165	333,33	0,0154	14,59977	2,376	67,44309
3	161	0,31	0,79	0,55	0,2376	292,73	0,0142	9,310503	2,007	39,18843
4	177	0,23	0,93	0,58	0,2642	305,17	0,0174	30,11146	1,956	113,9688
5	173	0,34	0,93	0,635	0,3167	272,44	0,0113	17,93393	1,631	56,62889
6	165	0,17	0,62	0,395	0,1225	417,72	0,01	17,87457	2,468	145,8652
7	166	0,19	0,98	0,585	0,2688	283,76	0,0168	10,01574	2,703	37,26331
8	165	0,19	0,74	0,465	0,1698	354,84	0,012	2,348923	5,824	13,83162
9	165	0,17	0,95	0,56	0,2463	294,64	0,0178	18,68455	2,997	75,86067
10	172	0,19	0,69	0,44	0,1521	390,91	0,015	36,32591	3,064	238,9028
11	172	0,28	1,01	0,645	0,3267	266,67	0,153	16,84465	2,071	51,55285
12	166	0,11	0,46	0,285	0,0638	582,46	0,02	23,72942	2,711	371,9697
13	176	0,19	0,69	0,44	0,1521	400,00	0,0435	20,76185	3,004	136,5434
14	169	0,14	0,64	0,39	0,1195	433,33	0,0262	21,19477	3,012	177,4228
15	167	0,19	0,57	0,38	0,1134	439,47	0,0131	7,282079	2,351	64,20935
16	168	0,11	0,55	0,33	0,0855	509,09	0,0267	20,2242	2,246	236,4577
17	174	0,18	0,31	0,245	0,0471	710,20	0,0282	29,28752	2,16	621,2416
18	178	0,29	0,61	0,45	0,1590	395,56	0,0457	49,01665	2,914	308,1972
19	175	0,19	0,69	0,44	0,1521	397,73	0,0283	40,65856	3,028	267,3972
20	173	0,28	1,01	0,645	0,3267	268,22	0,01	16,44665	2,875	50,33477
<b>průměr</b>	<b>170,1</b>	<b>0,221</b>	<b>0,7365</b>	<b>0,47875</b>	<b>0,19069</b>	<b>381,3966</b>	<b>0,02834</b>	<b>21,12162</b>	<b>2,80515</b>	<b>157,3316</b>

*Příloha 9: Vláknó demineralizované 24 h, 160xZoom*

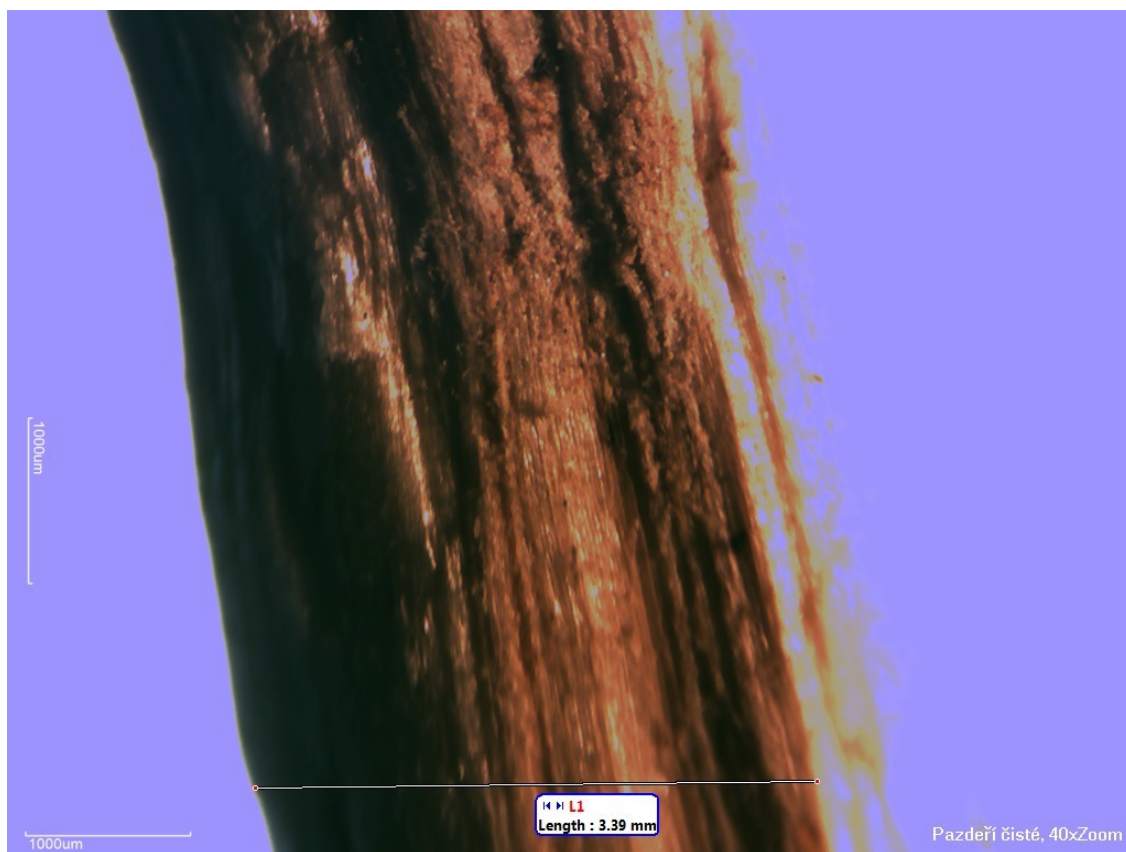


*Příloha 10: Vláknó NaOH 24 h, 160xZoom*

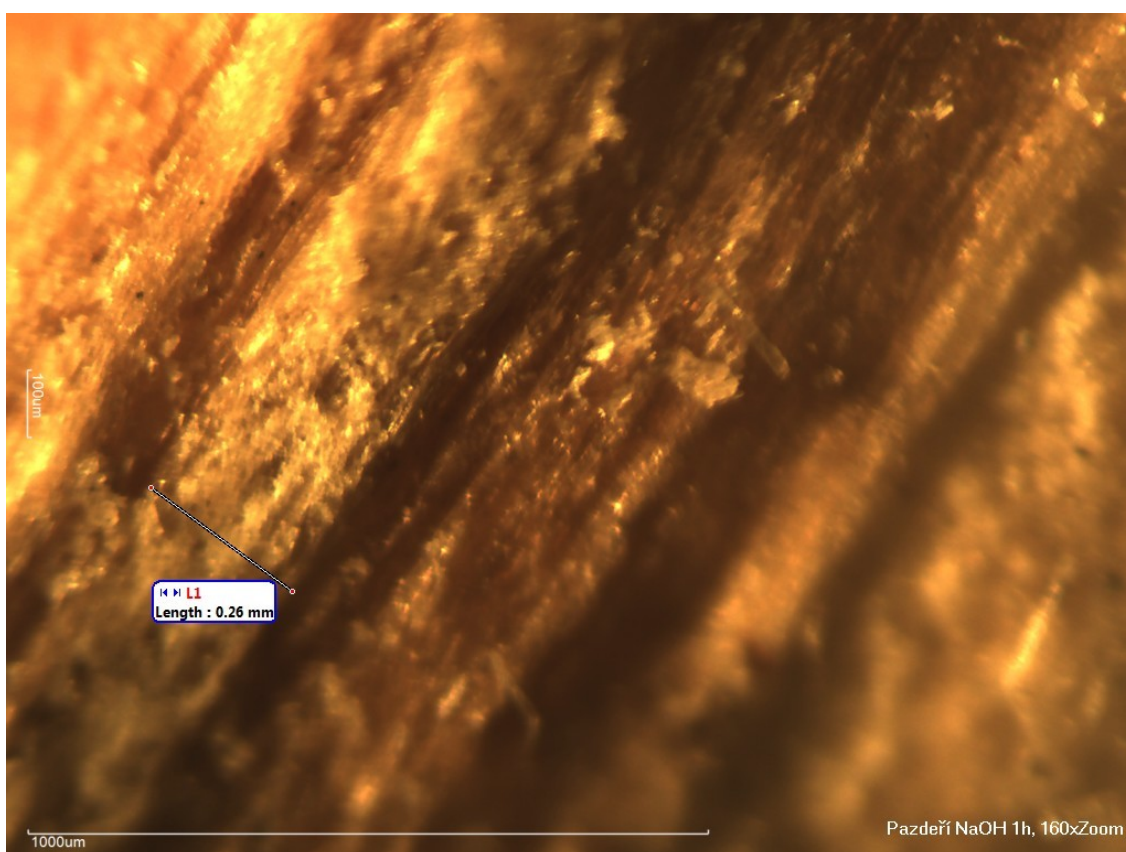




*Příloha 11: Pazdeři neupravené, 40xZoom*



*Příloha 12: Pazdeři NaOH 1 h, 160xZoom*



*Příloha 13: Pazdeří NaOH 24 h, 160xZoom*

